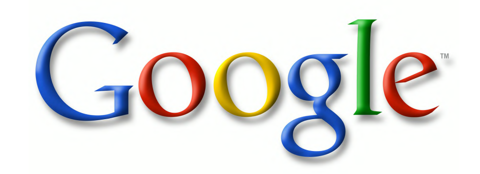


PHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

IM

GEBIETE DER OPTIK

VON

DR. ALFRED WILHELM VOLKMANN,
PROFESSOR IN HALLE.

1.—2

ERSTES HEFT.

MIT 21 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,
DRUCK UND VERLAG VON BREITKOPF & HÄRTEL.
1863.

PHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

IM

GEBIETE DER OPTIK

VON

DR. ALFRED WILHELM VOLKMANN,
PROFESSOR IN HALLE.

ERSTES HEFT.

MIT 21 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,

DRUCK UND VERLAG VON BREITKOPF UND HÄRTEL.

1863.

INHALTSVERZEICHNISS.

PRINTED IN GERMANY

I. Ueber Irradiation.

§ 1. Eine hellbeleuchtete Fläche auf dunkelem Grunde erscheint grösser als sie wirklich ist, sie vergrössert sich auf Kosten ihrer dunkelen Umgebung. Bekanntlich hat die Physik die hieher gehörigen Erscheinungen unter dem Namen Irradiation zusammengefasst.

Während Plateau die Ursache der Irradiation in physiologischen Verhältnissen suchte, und annahm, dass die von einer hellen Fläche verursachte Erregung der Netzhaut die Grenzen des optischen Bildes überschreite, erwies Welcker, dass die Ursache derselben eine physikalische sei und in der Zerstreuung des Lichtes liege. Hieraus erklärt sich, dass die Irradiation mit der Fehlerhaftigkeit der Accommodation wächst, und dass sie durch Benutzung geeigneter Brillengläser beseitigt, aber auch durch Anwendung unpassender Gläser hervorgerufen werden kann. Zwar werden Irradiationserscheinungen auch bei genauester Accommodation des Auges wahrgenommen, da aber die brechenden Medien keine regelmässigen Rotationsflächen besitzen und unser Sehorgan nicht vollkommen achromatisch ist, so ist eine gewisse Lichtzerstreuung auch unter diesen Umständen unzweifelhaft.

§ 2. Auch dunkele Objecte auf lichtem Grunde können irradiiren, d. h. auf Kosten der lichten Umgebung vergrössert erscheinen. Ein einfaches Mittel sich hiervon zu überzeugen ist folgendes. Man ziehe auf sehr feines, weisses Papier ein Paar gleich zarte schwarze Linien in der Weise, dass unter einem Winkel von 1—2° Kreuzung eintritt. Dann betrachte man die Zeichnung in passender Sehweite, und notire sich den Punkt, wo man die Dicke der Linien dem gegenseitigen Abstande beider für gleich erachtet.

Controlirt man nun, nachdem dies geschehen, seine Schätzung mit Hülfe einer starken Lupe, so findet sich, dass die Distanz zwischen den Linien beträchtlich grösser als deren Dicke ist, ein unmittelbarer Beweis, dass die schwarzen Linien zu dick erschienen und sich auf Kosten des weissen Zwischenraumes verbreitert haben.

Das Zustandekommen derartiger Erscheinungen ist an eine gewisse Kleinheit der schwarzen Objecte gebunden, worauf ich unten ausführlicher zurückkommen werde. Auch hier muss die Irradiation auf Zerstreuung des Lichts bezogen werden, da sie durch fehlerhafte Accommodation hervorgerufen und vorkommenden Falls durch passende Brillengläser beseitigt wird. Selbstverständlich kann diese Lichtzerstreuung nicht von dem schwarzen Objecte, sondern nur von seinem lichten Grunde abhängen, und habe ich in einer frühern Arbeit den scheinbaren Widerspruch, dass die von dem weissen Grunde ausgehende Lichtzerstreuung statt einer Verkleinerung eine Vergrösserung des schwarzen Objectes bewirke, zu lösen gesucht.*) Indess halte ich die früher von mir gegebene Erklärung, wenn auch im obersten Principe für richtig, doch in der feinern Ausführung für unzureichend, und ist dies der Grund, warum ich den schon einmal behandelten Gegenstand von neuem aufnehme.

§ 3. Ich habe die Bedingungen der Irradiation nach den verschiedensten Seiten hin untersucht, und habe, um möglichst vergleichbare Resultate zu erhalten, in allen meinen Versuchen eine gleiche, nämlich fehlerlose Accommodation des Auges zu erzielen gesucht. Da die Ursache der Irradiation in der Zerstreuung des Lichtes liegt, so musste mein Hauptaugenmerk die Grösse dieser Zerstreuung sein. Mit Rücksicht hierauf sind in allen Versuchen die Zerstreuungskreise gemessen und die Durchmesser derselben notirt worden. Um nun den Leser in den Stand zu setzen, die Zuverlässigkeit meiner Messungen zu beurtheilen, werde ich eine genaue Beschreibung der von mir angewandten Versuchsmethoden vorlegen.

§ 4. Da feine Linien, gleichviel ob sie weiss, schwarz oder farbig sind, irradiiren, so müssen zwei feine Parallellinien auf

*) Bericht der Sächs. Ges. d. Wissensch. 1857. S. 129.

Kosten des zwischen denselben gelegenen Raumes verbreitert erscheinen. In Folge dessen kann der in Mitten zweier Parallellinien gelegene Zwischenraum nur dann ebenso breit erscheinen, als die Linien dick sind, wenn er thatsächlich breiter als die Breite der Linien ist.

Allen meinen Versuchen liegt nun die Aufgabe zu Grunde, Parallellinien herzustellen, deren Distanz genau so breit als die Linien erschien.

Bezeichnet man die Breite der Linien mit B, die Breite ihrer gegenseitigen Distanz mit D, und die von der Irradiation abhängige Verbreiterung der ersteren mit Z, so ist die Aufgabe gelöst, wenn

$$B + Z = D - Z,$$

und folglich

$$Z = \frac{D - B}{2}.$$

Selbstverständlich ist Z die Verbreiterung der in Betracht genommenen objectiven Linien, nicht die ihres Netzhautbildes, und bedarf es daher noch einer Rechnung, um die Grösse der Lichtzerstreuung im Auge aus Z abzuleiten.

Bezeichnen wir die Breite des Netzhautbildes unserer Linien mit β, die Verbreiterung der linearen Netzhautbilder mit ζ, so ergiebt sich:

$$B : \beta = Z : \zeta$$

und das Verhältniss von $B : \beta$ ist aus der Lage des Kreuzungspunktes der Richtungslinien leicht zu berechnen. Im Nachstehenden folge ich der Angabe LISTING's, dass der Abstand des mittleren Knotenpunktes von der Hornhaut 7^{mm} und von der Retina 15^{mm} betrage. Ist das Netzhautbild eines betrachteten Objectes um das $m$fache verkleinert, so ist

$$\zeta = \frac{Z}{m}.$$

Mit ζ ist nun die von der Lichtzerstreuung abhängige Verbreiterung des Netzhautbildes und, inwiefern diese dem Durchmesser eines Zerstreuungskreises gleichkommt, eben dieser Durchmesser selbst gegeben.

§ 5. Ein Theil meiner Versuche ist mit zwei parallelen Silberdrähten von $0{,}05^{mm}$ Dicke und 10^{mm} Länge angestellt worden.*)

*) In meiner ersten Abhandlung über Irradiation habe ich die Dicke der

Diese Drähte erscheinen, gegen den hellen Himmel betrachtet als dunkle Linien und können mit Hülfe eines sehr genauen Schraubenmikrometers ohne Störung des Parallelismus verschoben, also einer dem andern beliebig genähert werden. Die Grösse ihrer gegenseitigen Distanz, welche der Aufgabe gemäss mit der scheinbaren Breite der Linien übereinstimmen muss, lässt sich bis auf 0,01^{mm} messen und bis auf 0,001^{mm} schätzen. In meiner oben erwähnten ersten Abhandlung habe ich die Silberdrähte auch bei auffallendem Lichte vor einem schwarzen Grunde beobachtet, indem ich auf diese Weise die voraussetzlichen Unterschiede, welche das Irradiiren schwarzer und weisser Objecte kennzeichnet, zu ermitteln hoffte. Obschon durch diese Versuche ein Vorwiegen der Irradiation auf Seiten der weissen Objecte vollständig erwiesen wurde, so war doch die Grösse des Unterschiedes auf dem von mir eingeschlagenen Wege nicht zu ergründen. Das von den cylindrischen Drähten reflectirte Licht bedingt Bilder, welche nothwendig schmaler als die Drähte selbst sind, und wird hiermit die Dicke des Drahtes, welche man beim Rechnen in Anschlag zu bringen habe, zweifelhaft.

§ 6. Um diesen Uebelstand zu beseitigen, habe ich in spätern Versuchen statt der Drähte Streifen aus weissem und schwarzem Papier angewendet. Da aber ein accommodirtes Auge die Irradiation nur an sehr kleinen Objecten wahrzunehmen vermag, andrerseits die Herstellung sehr schmaler Papierstreifen von absolut gleichmässiger Breite schwierig ist, habe ich breite Streifen unter Zuhülfenahme einer optischen Verkleinerung beobachtet.

Der Apparat, dessen ich mich zu dem Zwecke bediene, ist ein Fernrohr, aus welchem ich sämmtliche Gläser, mit Ausnahme des Objectives, herausgenommen habe. Wird ein Object durch dieses Rohr betrachtet, so entsteht zwischen der Linse und dem Auge ein verkleinertes Bild desselben, und braucht man nur dem Rohre, mit Hülfe seiner Auszüge, die passende Länge zu geben, um den Einfluss einer mangelhaften Accommodation gänzlich zu beseitigen.

Drähte mit 0,0445^{mm} angegeben. Im Mittel zahlreicher Messungen mit vier verschiedenen Objectiven eines Oberhäuser'schen Mikroskops ist der im Text verzeichnete Werth der genauere.

Die Focaldistanz der Linse beträgt 3 Par. Zoll, und lässt sich also die Entfernung des betrachteten Bildchens von der Linse in jedem Falle leicht berechnen. Zieht man diese Entfernung von der Länge des Rohres ab, so erhält man die Sehweite. Um aber die Länge des Rohres nicht in jedem Falle besonders messen zu müssen, habe ich die Auszüge desselben mit einem Maassstabe versehen lassen.

Der eben beschriebene Apparat gestattet eine sehr vielseitige Benutzung und wird in den nachstehenden Untersuchungen so oft in Anwendung kommen, dass die Bezeichnung desselben mit einem einfachen Namen wünschenswerth scheint. Ich will das Instrument, mit Bezug auf seinen Gegensatz zum Mikroskope, **Makroskop** nennen.

Anlangend die Berechnung der mit Hülfe des Makroskops bewirkten Verkleinerung, so ist zu berücksichtigen, dass sich die Grösse des gegebenen Objectes zur Grösse des verkleinerten Bildchens ebenso verhält, wie die Entfernung des Objectes von der Linse auf der einen Seite zu der Entfernung des Bildchens von der Linse auf der andern Seite. Da die letztere Entfernung den Umständen nach nicht messbar ist, so muss sie berechnet werden.

Bezeichnet man die Entfernung des Objectes von der Linse mit E, die Focalweite der letztern mit f, und die Entfernung des Bildchens von der Linse mit e, so ist

$$e = \frac{Ef}{E-f},$$

der Quotient $\frac{E}{e} = n$ besagt, um das Wievielfache das Object durch den optischen Apparat verkleinert worden.

Beabsichtigt man das Object um das $n$fache zu verkleinern, so erhält man den erforderlichen Abstand desselben von der Linse durch die Formel

$$E = (n + 1)\, f.$$

§ 7. Noch ist zu erwähnen, dass in den makroskopischen Versuchen ein doppeltes Verfahren in Anwendung kommen kann. Die beiden Papierstreifen, an welchen die Irradiation beobachtet und gemessen wird, können bewegliche oder unbewegliche sein. Im ersteren Falle treten dieselben Verhältnisse ein, welche sich in dem mit Silberdrähten bespannten Schraubenmikrometer gel-

tend machten und keiner weiteren Erörterung bedürfen (vgl. § 5). Für den zweiten Fall, in welchem die parallelen Streifen von unveränderlicher Distanz sind, ist Folgendes zu bemerken.*)

Wenn das Verhältniss der Breite der Streifen zu ihrer gegenseitigen Distanz der Gleichung $B + Z = D - Z$ (vgl. § 4) nicht entspricht, so braucht man nur den Abstand des Objectes von der Objectivlinse in geeigneter Weise zu ändern, um der Aufgabe des Versuches Genüge zu leisten. Dies erklärt sich daraus, dass mit Veränderung des Abstandes E sich nothwendig die scheinbare Grösse des Objectes, und folglich auch die seiner Theile (B und D der Gleichung) ändern, während die Irradiation (repräsentirt durch Z der Gleichung) constant bleibt.

Da mit zunehmender Entfernung des betrachteten Objectes die scheinbare Breite und die scheinbare Distanz der parallelen Streifen in gleichem Maasse verkleinert werden, so ergiebt sich aus unserer Gleichung unmittelbar, dass das Verhältniss dieser Distanz zu jener Breite mit dem Anwachsen des Werthes E abnehme.

Die Berechnung des Durchmessers der Zerstreuungskreise (ζ) ergiebt sich aus den in § 4 entwickelten Grundsätzen. Man hat

$$\zeta = \frac{Z}{m \times n}$$

wenn das betrachtete Object durch das Makroskop um das $n$fache, und wiederum das makroskopische Bildchen durch das Auge um das $m$fache verkleinert wird.

§ 8. Nach dieser Darstellung meines Experimentalverfahrens bleibt noch die Frage übrig, in wieweit die mit Hülfe desselben gewonnenen Resultate als zuverlässig gelten können.

Es ist einleuchtend, dass meine Bestimmungen des Durchmessers der Zerstreuungskreise (ζ) auf blosse Schätzungen gegründet sind, denn die fundamentale Gleichung

$$B + Z = D - Z$$

ist nur mit Hülfe des Augenmaasses gewonnen. Unter diesen Umständen sind Irrungen unvermeidlich, indess ergeben sich diese

*) Der Kürze wegen unterscheide ich dieses doppelte Verfahren mit A und B, und nenne also B Methode diejenige, wo die Distanz der parallelen Streifen unveränderlich ist.

bei näherer Prüfung als so kleine Grössen, dass ihre Vernachlässigung ganz unbedenklich ist.

Ich werde, um dies zu beweisen, eine Versuchsreihe vorlegen, welche mit dem § 5 beschriebenen Schraubenmikrometer angestellt worden ist. Man hat sich zu erinnern, dass der Durchmesser der beiden Drähte = $0{,}05^{mm}$ ist, und dass die Aufgabe des Versuchs darin besteht, die Drähte so zu stellen, dass die Distanz derselben jenem Durchmesser gleich scheint.

Versuch 1.

In nachstehender Tabelle ist die Distanz der parallelen Drähte unter D, die Verbreiterung derselben $\left(\text{also } \frac{D-B}{2}\right)$ unter Z angegeben. Da nun bei Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers die Fehler der einzelnen Beobachtungen in Frage kommen, so habe ich dieselben unter F angegeben. Offenbar ist aber $F = Z' - Z$, wenn Z' den aus allen Versuchen entnommenen mittleren Werth der Verbreiterung, und Z die Verbreiterung in jedem einzelnen Falle bedeutet. Die Beobachtungen ergaben:

Beobachtung	D	Z	F
1	0,182mm	0,066mm	— 0,008mm
2	0,190	0,070	— 0,004
3	0,195	0,073	— 0,001
4	0,204	0,077	0,003
5	0,172	0,061	— 0,013
6	0,205	0,078	0,004
7	0,205	0,075	0,001
8	0,205	0,083	0,009
9	0,202	0,076	0,002
10	0,192	0,071	— 0,003
11	0,201	0,076	0,002
12	0,211	0,081	0,007
13	0,199	0,075	0,001
14	0,210	0,080	0,006
15	0,189	0,070	— 0,004
16	0,201	0,076	0,002
17	0,202	0,076	0,002
18	0,198	0,074	0,000
19	0,190	0,070	0,004
20	0,193	0,072	— 0,002
Mittel =	0,1975	0,074 = Z'.	

Bezeichnet man die Zahl der Beobachtungen mit N, so erhält man den wahrscheinlichen Fehler nach der Formel

$$0{,}674 \sqrt{\frac{SF^2}{(N-1)N}}$$

wo SF^2 die Summe der Fehlerquadrate bedeutet. Die Rechnung ergiebt $0{,}0008027^{mm}$. Dieser Fehler bezieht sich auf die Verbreiterung Z, welche im Mittel von 20 Beobachtungen $= 0{,}074^{mm}$. Er verhält sich also zu Z wie $1 : 92{,}5$ und muss sich zum Durchmesser des Zerstreuungskreises (ζ), welcher aus Z abgeleitet ist, ebenso verhalten. Es ergiebt sich hieraus, dass die aus meinen Ausgleichungsversuchen berechneten Durchmesser der Zerstreuungskreise nur um $\frac{1}{92{,}5}$ vom Wahren abweichen, vorausgesetzt nämlich, dass der Rechnung 20 Beobachtungen zu Grunde liegen.

In den nachstehenden Untersuchungen beruht die Rechnung zwar nur auf 10 und noch weniger Reobachtungen, indess habe ich mich überzeugt, dass auch dann die wahrscheinlichen Fehler so klein sind, dass sie die vierte und letzte Decimalstelle der von mir notirten ζ Werthe nicht oder doch nicht merklich afficiren.

§ 9. Die ausserordentliche Kleinheit der wahrscheinlichen Fehler beweist, dass die nach meinem Ausgleichungsverfahren angestellten Versuche einen hohen Grad von Genauigkeit erlauben. Irre ich nicht, so hat Helmholtz (Physiologische Optik S. 324) hiergegen Bedenken erhoben, die nicht unberücksichtigt bleiben dürfen. An der erwähnten Stelle wird über die in meiner ersten Arbeit angestellten Versuche berichtet und zunächst angegeben, dass Fäden von $0{,}0445^{mm}$ Dicke bei 333^{mm} in Betracht genommen wurden. An diese Angabe wird die Bemerkung geknüpft, dass demgemäss die Fäden dem Auge viel k l e i n e r e r s c h e i n e n mussten, als die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen. Helmholtz erörtert hierauf die von mir angewandte Methode, und giebt an, dass ich den zwischen den beiden Fäden befindlichen Zwischenraum zur Berechnung der Zerstreuungskreise benutze. Die Relation schliesst mit folgenden Worten. »V. machte den Zwischenraum im Mittel $= 0{,}207^{mm}$, während die Dicke der Fäden, denen derselbe gleich sein sollte, nur $0{,}0445^{mm}$ betrug, und berechnet daraus die Breite des Zerstreuungsbildes auf der Netzhaut $= 0{,}0035^{mm}$; bei andern Personen, bei hellem Himmelsgrunde,

schwankt diese letztere Grösse zwischen 0,0006 und $0,0025^{mm}$. Diese Grössen sind kleiner als die kleinsten sichtbaren Abstände ($0,0044^{mm}$) und als die Zapfen des gelben Fleckes (0,0045—0,0054), so dass möglicher Weise die letzteren die Breite des schwarzen (Faden-)Bildes bestimmt haben können. Dass so grosse Unterschiede in den Einstellungen vorkamen, darf bei einer so subtilen Aufgabe wohl nicht wundern.«

Ich verstehe diese Stelle so, dass Helmholtz die beträchtlichen Differenzen der von verschiedenen Beobachtern erhaltenen Resultate nicht aus der Verschiedenheit der jedesmaligen Bedingungen, sondern aus der Unsicherheit des Experimentalverfahrens ableitet, und ferner dass er den Grund der Unsicherheit in dem Umstande sucht, dass die Grössen der sensibeln Elementartheile die Breiten der Fadenbilder bestimmt haben dürften.

Hiergegen darf ich zunächst bemerken, dass die sehr weit aus einander gehenden Versuchsresultate verschiedener Beobachter (Bestimmungen, welche sich wie 1 : 6 verhalten) unmöglich auf die zu grosse Subtilität der Aufgabe beziehen können, da die Messungen eines und desselben Beobachters nur mässig schwanken, in Versuch 1 beispielsweise im Verhältniss von 1 : 1,25.

Ferner ist die von Helmholtz gehegte Vermuthung, dass die Grösse der sensibeln Elementartheile die Breite der Fadenbilder bestimmt haben möchte, nicht begründet. Hierüber wird ein späterer Abschnitt weitere Aufschlüsse bringen, aber schon die Resultate der Ausgleichungen selbst reichen aus, das Unbegründete jener Vermuthung nachzuweisen, wie sich aus Folgendem ergiebt.

Die Aufgabe des Versuches ist, den Fäden eine Distanz zu geben, welche der Dicke derselben gleich scheint. Dieser Schein der Gleichheit kann bei variabler Verkleinerung des betrachteten Objectes eintreten, während die reale Distanz um das Vierfache schwankt. Folglich muss dasselbe Fadenbild, den Umständen nach, eine um das Vierfache schwankende scheinbare Breite haben. Da nun die Kleinheit der wahrscheinlichen Fehler beweist, dass die höchst verschiedenen scheinbaren Breiten nicht auf der Unsicherheit des Urtheils, sondern auf einem objectiven Grunde beruhen, so kann die scheinbare Breite nicht durch die Empfindung eines Elementartheiles gegeben sein, weil sie in diesem Falle sich approximativ gleich bleiben müsste.

Unverständlich ist mir in der angeführten Stelle die Bezugnahme auf die kleinsten erkennbaren Distanzen. Ich will indess bemerken, dass in meinen Ausgleichungsversuchen die Distanz der Drähte oder Papierstreifen ohne Ausnahme viel grösser als die kleinste erkennbare ist. Da nun die Breite der Linien der Distanz gleich gemacht wird, so ist das durch Irradiation verbreiterte Bild ebenfalls viel breiter als die kleinste erkennbare Distanz, woraus sich nochmals ergiebt, dass die Breite des Fadenbildes nicht durch die Empfindung eines Elementartheiles bestimmt wird.

§ 10. Die verschwindende Kleinheit der wahrscheinlichen Fehler in meinen Ausgleichungsversuchen darf nicht ohne Weiteres für den Maassstab der Zuverlässigkeit dieser genommen werden. Die Berechnung der wahrscheinlichen Fehler berücksichtigt bekanntlich nur die variabeln, nicht die constanten Fehler, und ist kein Zweifel, dass die constanten in meinen Versuchen eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielen.

Man beachte, dass in der fundamentalen Gleichung:

$$B + Z = D - Z$$

der Werth Z, also die auf Kosten der Umgebung eintretende Verbreiterung des Objectes, nicht blos von dem objectiven Factor der Lichtzerstreuung, sondern auch von dem subjectiven der Sensibilität abhängt. Wenn ein heller Punkt auf schwarzem Grunde betrachtet wird, so entsteht auf der Netzhaut ein Lichtbildchen, welches in Folge der Irradiation ganz allmählich in den umgebenden unbeleuchteten oder schwarzen Grund übergeht. Das Auge ist nun nicht im Stande das abgeschwächte Licht bis zur Grenze des Lichtlosen zu verfolgen, weil die Wahrnehmbarkeit eines Lichtunterschiedes, um welche es sich hier offenbar handelt, von einer bestimmten Grösse des Unterschiedes abhängig ist. Hieraus ergiebt sich, dass ein Theil des objectiv vorhandenen Zerstreuungskreises der Wahrnehmung verloren geht, und müssen demnach alle von mir berechneten Werthe an dem Fehler der Unterschätzung leiden.

Der eben bemerkte Fehler ist der Richtung nach constant, der Grösse nach muss er variabel sein, schon deshalb weil die Sensibilität eine veränderliche ist. Ein weiterer Grund für Grössenschwankungen unseres constanten Fehlers liegt in der verän-

derlichen Lichtintensität der betrachteten Objecte. Der Zusammenhang ist folgender.

Wenn eine weisse und eine schwarze Fläche an einander grenzen und Lichtzerstreuung stattfindet, so wird ein Grenzstreifen des Schwarzen so viel an Licht gewinnen, als ein entsprechender Grenzstreifen des Weissen ihm solches abgegeben und also seinerseits verloren hat. Nun wird es von der Lichtintensität der weissen Fläche abhängen, ob sie durch die Lichtzerstreuung eine Vergrösserung oder Verkleinerung erfahre. Ist die Intensität bedeutend, so kann das über die Grenze des Schwarzen hinausgestreute Licht noch als solches wahrgenommen werden und wird dann die weisse Fläche wachsen; ist dagegen die Intensität sehr geringe und von vorn herein kaum ausreichend die Netzhaut zu erregen, so wird der im weissen Grenzstreifen eintretende Lichtverlust die Lichtempfindung unmöglich machen und eine Verkleinerung des Weiss zur Folge haben.

Der Einfluss, welchen die Irritabilität und die Lichtstärke auf den Erfolg der Versuche haben, ist ziemlich bedeutend und doch im einzelnen Falle nicht genau bestimmbar. Ich verkenne nicht, dass dies den Werth der von mir angestellten Untersuchungen beträchtlich beschränkt. Wie schon angegeben beabsichtigte ich die Umstände zu untersuchen, welche die Grösse der Irradiation beeinflussen, und war demnach die Anstellung verschiedener Versuchsreihen, und die Vergleichung der in denselben gewonnenen Resultate ein Unvermeidliches. Dass nun eine vergleichende Zusammenstellung von Erscheinungen, die theilweise von unvergleichbaren oder doch nicht genau vergleichbaren Bedingungen abhängen, sehr schwierig sei und mit grosser Vorsicht hingenommen werden müsse, ist einleuchtend.

§ 11. Die Unmöglichkeit die Irritabilität und Lichtstärke, von welchen die Irradiation abhängt, genau zu messen, darf von der Untersuchung anderweitiger Umstände, welche die Lichtzerstreuung influenziren, nicht abschrecken. Wenn es sich darum handelt, zu bestimmen, in wie weit die Durchmesser der Zerstreuungskreise von den Umständen *a*, *b*, *c* abhängen, so wird schon die häufige Wiederholung der Versuche, besonders wenn sich auch verschiedene Personen an denselben betheiligen, Aufschlüsse geben, vor Allem aber wird das Verfahren der ab-

wechselnden Versuche, durche welche die unmessbaren Störungen ausgeglichen werden, zur Ermittelung des Wahren führen.

Ich will zunächst eine Versuchsreihe vorlegen, in welcher 8 verschiedene Objecte abwechselnd in Betracht genommen wurden. Die Parallellinien, welche in allen Fällen schwarz auf weissem Grunde dargestellt waren, hatten nämlich ungleiche Dicken und differirten ungefähr um das Achtfache. Diese Versuche wurden makroskopisch ausgeführt und zwar nach Maassgabe der *B*-Methode (§ 7 Anmerkung). Mit jedem der 8 Objecte sind 6 Versuche angestellt worden, um die Entfernung *E* zu ermitteln, welche der Aufgabe $B + Z = D - Z$ Genüge leistet. Die nachstehende Tabelle enthält die aus den sehr übereinstimmenden Beobachtungen abgeleiteten Mittelwerthe.

In den Columnenüberschriften haben nachstehende Buchstaben beistehende Bedeutung:

E die Entfernung des Objectes von der Objectivlinse,
B die Breite der parallelen Streifen oder Linien,
β die Breite des Netzhautbildes dieser Streifen,
D die Distanz der parallelen Linien,
δ die Distanz der Netzhautbilder der Parallellinien,
ζ die Verbreiterung des Netzhautbildes oder der Durchmesser des Zerstreuungskreises,
S die Sehweite, hier die Entfernung des Linsenbildchens vom Knotenpunkte des Auges.

Versuch 2.

Object.	*B.*	*D.*	*E.*	*S.*
I	0,2462mm	0,4793mm	267,6mm	288mm
II	0,4587	0,9591	475,3	308
III	0,7089	1,4387	655,9	310
IV	0,9382	1,8973	821,1	312
V	1,1168	2,3352	1008,1	317
VI	1,3761	2,8770	1211,1	319
VII	1,6686	3,3360	1384,8	319
VIII	1,8765	3,7947	1498,6	319

Berechnung des Versuches 2.

Object.	δ	β	ζ
I	0,0108mm	0,0056mm	0,0026mm
II	0,0096	0,0046	0,0025

Object.	δ	β	ζ
III	0,0098mm	0,0048mm	0,0025mm
IV	0,0100	0,0049	0,0025
V	0,0098	0,0049	0,0025
VI	0,0097	0,0046	0,0025
VII	0,0097	0,0049	0,0024
VIII	0,0103	0,0050	0,0026

Es ergiebt sich also, dass ζ constant ist, obschon mit 8 sehr verschiedenen Objecten operirt worden. Man könnte geneigt sein die Unveränderlichkeit des Werthes ζ darauf zu beziehn, dass alle Versuche mit accommodirtem Auge angestellt wurden. Unstreitig wird die Lichtzerstreuung bei vollständiger Accommodation immer dieselbe sein, allein ζ misst nicht die wahre, sondern die scheinbare Grösse der Zerstreuungskreise, und diese kann auch bei constanten dioptrischen Bedingungen, wie später zu zeigen, auffallend schwanken. Gleichwohl liess sich das Resultat unsrer Versuche nicht anders erwarten, da in allen Objecten das Verhältniss $D : B = v$ dasselbe ist. Ist v constant, so werden Objecte von den verschiedensten absoluten Grössen die Herstellung desjenigen Bildes gestatten, welches der Aufgabe der Gleichung Genüge leistet, denn die erforderlichen absoluten Werthe von D und B lassen sich durch die Einstellung des Makroskops ohne Schwierigkeit beschaffen. Selbstverständlich müssen die der Aufgabe entsprechenden parallelen Streifen bestimmte Werthe für β, δ und ζ im Netzhautbilde bedingen, und wiederum wird der Beobachter, indem er die Aufgabe zu lösen sucht, gerade diese Werthe, oder doch approximativ gleiche, herbeiführen.

Die Gleichheit der Werthe ζ in den 8 Unterabtheilungen der Versuchsreihe ist also eine durch die Aufgabe postulirte. Dass aber die Gleichheit höchst annäherungsweise wirklich erreicht wird und sich in Mittelzahlen, welche auf nur 6 Versuchen fussen, bereits ausspricht, beweist nochmals die ausserordentliche Zuverlässigkeit meines Verfahrens. Zwar differiren die ζ Werthe noch um $^1/_{13}$, aber auch das Verhältniss v differirt um $^1/_{14}$, so dass die ersteren Differenzen wesentlich nur als Folgen der letzteren auftreten.

Obschon der 2. Versuch nur bestätigt was von vorn herein erwartet werden musste, so ist doch diese Bestätigung an sich sehr werthvoll. Man konnte von vorn herein nicht übersehn, in

wieweit die Anwendung verschiedener Objecte und verschiedener Einstellungen des optischen Apparates Störungen veranlasste, und ist erst jetzt sicher, dass die Versuche von dieser Seite nicht gefährdet sind.

§ 12. Die Grösse der Irradiation ist von der Grösse des Netzhautbildes abhängig, und verändern sich beide in entgegengesetzter Richtung.

Wenn die Zerstreuung des Lichtes im accommodirten Auge eine veränderliche ist, so kann sie mit Rücksicht auf die Gleichung

$$\zeta = \frac{\delta - \beta}{2}$$

von δ aus und von β aus verändert werden. Nun liegen zwei Möglichkeiten vor. Entweder hängt ζ thatsächlich sowohl von δ als von β, oder nur von dem einen dieser beiden Werthe ab. Versuch 2 ist nicht geeignet den Zweifel zu lösen, da in demselben δ und β constant sind. Es waren also neue Versuche nöthig, und ist der nächstfolgende wieder mit Hülfe des Makroskops, aber unter Anwendung der *A* Methode (§ 7 Anmerkung) angestellt worden. Die Linien sind schwarz auf weissem Grunde und haben 1^{mm} Dicke. Während also *B* constant = 1^{mm} ist, variirt *D* in 8 hinter einander angestellten und 6 mal in derselben Reihefolge wiederholten Versuchen zwischen $1{,}5^{mm}$ und 5^{mm}. Das Resultat der Versuche ergiebt sich aus nachstehender Tabelle.

Versuch 3.

Object.	*B.*	*D.*	*E.*
I	1mm	1,5mm	596,2mm
II	1	2,0	763,4
III	1	2,5	991,8
IV	1	3,0	1100
V	1	3,5	1182
VI	1	4,0	1251
VII	1	4,5	1363
VIII	1	5,0	1490

Berechnung von Versuch 3.

Object.	β	δ	ζ	*S*
I	0,0077mm	0,0115mm	0,0019mm	307mm
II	0,0057	0,0114	0,0029	312
III	0,0043	0,0108	0,0033	312

Object.	β	δ	ζ	S
IV	0,0038	0,0118	0,0038	312
V	0,0035	0,0123	0,0044	314
VI	0,0033	0,0129	0,0049	314
VII	0,0030	0,0136	0,0053	315
VIII	0,0027	0,0137	0,0055	315

Die Berechnung lehrt, dass die Lichtzerstreuung (ζ) wächst, wenn die Grösse des Netzhautbildes (β) abnimmt, und zwar ist die Veränderung beider im vorliegenden Falle nahezu eine umgekehrt proportionale. Der Werth δ hat sich nun äusserst wenig verändert, doch ist unzweifelhaft, das er von vorn herein (Object I — III) abnimmt und nochmals (Object IV — VIII) wächst. Die Curve der Veränderung in δ passt nicht zu der Curve der Veränderungen in ζ, und da die Beobachtungen als vollkommen zuverlässig gelten dürfen, ist die Annahme, dass ζ von δ abhänge, unzulässig.

Von beiläufigem Interesse ist zu sehn, dass die Lichtzerstreuung eines accommodirten Auges, oder genauer der Durchmesser des erkennbaren Zerstreuungskreises, um das Dreifache variiren kann.

§ 13. Während im vorigen Versuche B constant und D variabel war, experimentirte ich im nächstfolgenden Versuche mit Objecten, wo das umgekehrte Verhältniss stattfand, d. h. die Distanz der Parallellinien war sehr annäherungsweise constant, ihre Dicke dagegen veränderlich. Auch diese Versuchsreihe wurde mit Hülfe des abwechselnden Verfahrens und makroskopisch ausgeführt. Die beobachteten Linien waren unbewegliche (B Methode).

Versuch 4.

Object	B	D	E
I	0,4587mm	1,876mm	655mm
II	0,6880	1,959	711
III	0,9174	1,918	779
IV	1,1676	1,876	829
V	1,3761	1,876	930

Berechnung von Versuch 4.

Object	β	δ	ζ	S
I	0,0031mm	0,0128mm	0,0049mm	310mm
II	0,0042	0,0120	0,0039	311

Object	β	δ	ζ	S
III	0,0051mm	0,0107mm	0,0028mm	312mm
IV	0,0061	0,0098	0,0018	312
V	0,0064	0,0086	0,0011	313

Der Versuch entspricht dem vorhergehenden in sofern, als die Werthe β und ζ in umgekehrter Richtung wachsen, obschon der Zuwachs diesmal kein umgekehrt proportionirter ist.

§ 14. Um die Beziehung der Irradiation zur Grösse des Netzhautbildes nochmals zu prüfen, modificirte ich die Versuche auf folgende Weise. Ich benutze weisse Linien von 1mm Breite, auf schwarzem Grunde, Linien welche sich mit Hülfe eines Schraubenmikrometers beliebig nähern und entfernen lassen, zu makroskopischen Versuchen. Diese Linien werden unter 8 verschiedenen Entfernungen (E) betrachtet, so dass die Grösse der Netzhautbilder 8 Veränderungen erfährt. Für jeden dieser 8 Fälle wird die Liniendistanz gesucht, welche der Gleichung $B + Z = D - Z$ Genüge leistet. Im Ganzen sind 64 Versuche angestellt worden, mit jedem E Werthe 8, und kam dabei das abwechselnde Versuchsverfahren in Anwendung.

Ich will, um Raum zu sparen, die beobachteten Werthe E, D, S und die berechneten β, δ, ζ in einer Tabelle zusammenstellen. Die Aufnahme des Werthes B in die Tabelle war überflüssig, da derselbe, wie angegeben, constant = 1mm ist. Schon aus dem Vorbemerkten ergiebt sich, dass die unter D, δ, β, ζ notirten Zahlen Mittelwerthe aus 8 (beiläufig wohlübereinstimmenden) Versuchen sind.

Versuch 5.

E	S	D	δ	β	ζ
325mm	298mm	1,028mm	0,0173mm	0,0167mm	0,0003mm
487	309	1,138	0,0110	0,0097	0,0007
650	314	1,544	0,0103	0,0068	0,0018
812	314	2,004	0,0105	0,0052	0,0027
974	314	2,580	0,0113	0,0043	0,0035
1137	314	3,080	0,0113	0,0037	0,0038
1299	319	3,637	0,0116	0,0031	0,0043
1462	322	4,348	0,0116	0,0026	0,0045

Es bestätigt sich also, dass ζ wächst, wenn β abnimmt. Eine Beziehung zwischen ζ und δ ist nicht annehmbar, da die Grössen

von δ anfänglich rasch abnehmen und dann langsam aber stetig wachsen, während die ζ-Werthe einen solchen Umschlag nicht zeigen, vielmehr von vorn herein und continuirlich wachsen.

Bemerkenswerth ist, dass der Durchmesser der sichtbaren Zerstreuungskreise im Ablaufe der Versuchsreihe um das 15fache wächst, obschon die Lichtzerstreuung immer dieselbe, nämlich die des accommodirten Auges ist.*)

§ 15. Eine weitere Modification meiner Versuche wurde durch eine Veränderung ihrer Aufgabe erzielt. Bisher kam es darauf an, den Zwischenraum der Fäden ihrer Dicke gleich zu machen, in den nachstehenden Versuchen soll dagegen der Zwischenraum in einem bestimmten Verhältnisse grösser oder kleiner erscheinen als die Breite der Linien. Freilich ist diese Aufgabe weit schwieriger als die bisher gestellte und kann zu brauchbaren Resultaten nur führen, wenn man sich auf die Herstellung sehr einfacher Verhältnisse beschränkt. Die von mir in Anwendung genommenen und nach dem Verfahren der abwechselnden Versuche geprüften drei Verhältnisse sind folgende.

Object I. Die Distanz der Striche ist gleich der Hälfte ihrer Dicke, also

$$D - Z = \frac{B + Z}{2}$$

und

$$Z = \frac{2D - B}{3}.$$

Object II. Die Distanz der Striche ist gleich der Dicke der Striche.

$$D - Z = B + Z$$

also

$$Z = \frac{D - B}{2}.$$

Object III. Die Distanz der Striche ist gleich der doppelten Dicke der Striche.

$$D - Z = 2(B + Z)$$

$$Z = \frac{D - 2B}{3}.$$

*) Die Grössen der Zerstreuungskreise differiren hier noch viel auffallender als in der früher von mir bekannt gemachten und von verschiedenen Beobachtern angestellten Versuchen. Gleichwohl wird, bei dem gesetzlichen Fortschritt der ζ-Werthe, Niemand dem Gedanken Raum geben, dass die Differenzen auf einer Unsicherheit des Experimentalverfahrens beruhen, welche mit der Subtilität der dem Beobachter gestellten Aufgabe in Zusammenhang stände (vgl. § 9).

Im nachstehenden Versuche sind bewegliche Linien von 1^{mm} Dicke makroskopisch betrachtet worden. Der Werth E war constant 650^{mm}, die Sehweite 312^{mm}. Die zur Lösung der drei Aufgaben erforderlichen Distanzen wurden mit Hülfe des Schraubenmikrometers hergestellt.

Versuch 6.

Beobachtung	Distanzen für die Objecte. I	II	III
1— 3	1,045mm	1,600mm	2,885mm
4— 6	1,072	1,644	2,928
7— 9	1,074	1,607	2,935
10—12	1,084	1,594	2,915
13 – 15	1,076	1,591	2,975
16—18	1,059	1,650	2,942
19 —21	1,020	1,607	2,850
22 – 24	1,000	1,750	2,906
25 – 27	0,990	1,704	2,872
28— 30	1,030	1,729	2,817
im Mittel	1,045mm	1,648mm	2,903mm.

Berechnung von Versuch 6.

Object	β	δ	ζ
I	0,0069mm	0,0071mm	0,0025mm
II	0,0069	0,0111	0,0022
III	0,0069	0,0198	0,0021

Es haben also die beträchtlichen Veränderungen der Distanz auf die Irradiation keinen Einfluss gehabt. ζ ist mit β annäherungsweise constant geblieben, ein Resultat, welches mit den bisher gewonnenen vollkommen zusammenstimmt.

Die Controle durch das Verhältniss v (§ 11) lässt sich nur auf Object II anwenden, da bei I und III nicht das Princip der Ausgleichung in Anwendung gekommen, für welches der Satz, dass die Constanz von v die Unveränderlichkeit von ζ bedinge, erwiesen wurde.

v ist in Object II = 1,65, sehr ähnlich wie in Versuch 3 Object I, wo v = 1,5. Nun ist ζ im gegenwärtigen Versuche = 0,0022^{mm}, während es im dritten = 0,0019 war. Mit Rücksicht auf die Proportion der v-Werthe = 1,65 : 1,5 sollte ζ im gegen-

wärtigen Versuche = 0,00209 sein. Hiernach ist in unserer Versuchsreihe wenigstens der für Object II ermittelte ζ-Werth vollkommen glaubwürdig, ein Ergebniss, welches für die Beglaubigung der übrigen, einer directen Controle unzugänglichen Versuche von Wichtigkeit ist.

§ 16. Die Erkenntniss der Beziehungen des Zerstreuungskreises zur Grösse und dem gegenseitigen Abstande der Netzhautbilder ist in doppelter Beziehung wichtig. — Es war selbstverständlich, dass das Verhältniss von $\zeta : \beta$ von Einfluss auf die Irradiation sein müsse, in sofern sehr kleine Verbreiterungen neben grossen Bildern verschwinden, aber es war nicht voraus zu sehen, dass die Grösse des Netzhautbildes einen Einfluss auf die absolute Grösse des Zerstreuungskreises ausübe, und verdient diese Thatsache die grösste Aufmerksamkeit.

Es lag ferner sehr nahe, zu vermuthen, dass die Distanz der Linien in meinem Versuche den Umfang der Irradiation influenziren werde, und ist der Nachweis, dass dem nicht so ist, deshalb von Wichtigkeit, weil nun erst die durch mein Ausgleichungsverfahren gefundenen ζ-Werthe auch für die Fälle Gültigkeit haben, in welchen die Irradiation nicht von zwei neben einander gelegenen Linien, sondern von einer einfachen abhängt.

Um so wichtige Thatsachen noch fester zu begründen, will ich in nachstehender Tabelle die Verhältnisse $\beta : \zeta$ und $\delta : \zeta$ aus allen meinen Versuchen (die erst später vorzulegenden mit einbegriffen) neben einander stellen. Die zusammenfallenden Werthe β und ζ einerseits und δ und ζ andrerseits stehen unmittelbar neben einander, und sind die in den beiden Columnen β und δ verzeichneten Maasszahlen numerisch geordnet. Unter diesen Umständen ist die Art und Weise, wie sich ζ mit β und mit δ ändert, vollkommen übersichtlich.

Verhältniss $\beta : \zeta$			Verhältniss $\delta : \zeta$		
β	ζ	Versuch	δ	ζ	Versuch
0,0027	0,0055	3,VIII	0,0071	0,0025	6,I
0,0030	0,0053	3,VII	0,0086	0,0011	4,V
			0,0096	0,0025	2,II
0,0031	0,0049	4,I	0,0097	0,0025	2,VI
0,0031	0,0043	5,VII	0,0097	0,0024	2,VII
0,0033	0,0049	3,VI	0,0098	0,0025	2,III
0,0033	0,0033	7,II	0,0098	0,0025	2,V

Verhältniss $\beta : \zeta$

β	ζ	Versuch
0,0035	0,0044	3,V
0,0037	0,0038	5,VI
0,0038	0,0038	3,IV
0,0042	0,0039	4,II
0,0043	0,0035	5,V
0,0043	0,0033	3,III
0,0046	0,0025	2,II
0,0046	0,0025	2,VI
0,0048	0,0025	2,III
0,0049	0,0025	2,V
0,0049	0,0025	2,IV
0,0049	0,0024	2,VII
0,0050	0,0026	2,VIII
0,0051	0,0028	4,III
0,0052	0,0027	5,IV
0,0056	0,0026	2,I
0,0057	0,0029	3,II
0,0061	0,0018	4,IV
0,0064	0,0011	4,V
0,0068	0,0020	13
0,0068	0,0018	5,III
0,0069	0,0022	6,II
0,0069	0,0021	6,III
0,0077	0,0019	3,I
0,0081	0,0009	26,V
0,0097	0,0007	5,II
0,0097	0,0006	26,IV
0,0123	0,0000	26,III
0,0154	—0,0004*)	26,II
0,0167	0,0003	5,I
0,0241	—0,0012	26,I

Verhältniss $\delta : \zeta$

δ	ζ	Versuch
0,0098	0,0018	4,IV
0,0099	0,0033	7
0,0099	0,0009	
0,0100	0,0025	2
0,0103	0,0018	5,III
0,0103	0,0026	2,VIII
0,0105	0,0027	5,IV
0,0107	0,0028	4,III
0,0108	0,0026	2,I
0,0108	0,0033	3,III
0,0108	0,0006	
0,0110	0,0007	5,II
0,0111	0,0022	6,II
0,0113	0,0035	5,V
0,0113	0,0038	3,IV
0,0113	0,0038	5,VI
0,0114	0,0029	3,II
0,0115	0,0019	3,I
0,0116	0,0045	5,VIII
0,0116	0,0043	5,VII
0,0120	0,0039	4,II
0,0123	0,0000	26,III
0,0123	0,0044	3,V
0,0128	0,0049	4,I
0,0129	0,0049	3,VI
0,0136	0,0053	3,VII
0,0137	0,0055	3,VIII
0,0146	—0,0004	26,II
0,0173	0,0003	5,I
0,0198	0,0021	6,III
0,0216	—0,0012	26,I

Der Gang der Zahlen lässt keinen Zweifel übrig, dass die Veränderung der Werthe β und ζ im Grossen und Ganzen in umgekehrter Richtung erfolge. Dagegen ist ein functionelles Verhältniss zwischen δ und ζ durchaus nicht annehmbar.

Besondere Beachtung verdient der Umstand, dass β-Werthe, welche sich nahezu gleichen, fast immer mit sehr wenig verschiedenen ζ-Werthen zusammenfallen, obschon jede in der Tabelle verzeichnete Zahl das Resultat eines besondern Versuches darstellt. Die Tabelle giebt also Aufschluss über den kleinen Einfluss

*) ζ wird negativ, wenn β statt kleiner ausnahmsweise grösser als δ erscheint. Wovon dies abhänge, kann erst später gezeigt werden.

der mit jedem Versuche verbundenen besondern Bedingungen, wozu ausser den Verschiedenheiten der benutzten Objecte namentlich die Differenzen der Beleuchtung und der zeitweiligen Reizbarkeit des Auges gehören. Ich habe oben angegeben, wie die Unmöglichkeit, derartige Differenzen nach Zahlen zu schätzen, die Vergleichbarkeit zweier Versuche schwierig und unsicher macht; man sieht jetzt, dass, wenn nur die Grössen der Netzhautbilder sich gleich bleiben, die Schwankungen der Irradiation sehr mässig ausfallen.

§ 17. Weisse Linien auf schwarzem Grunde irradiiren stärker, als schwarze Linien auf weissem Grunde.

Versuch 7.

Eine Tafel ist zur Hälfte mit weissem, zur Hälfte mit schwarzem Russ-Papier beklebt. Auf der weissen Hälfte sind zwei schwarze Parallellinien von 2^{mm} Dicke und 6^{mm} gegenseitiger Distanz angebracht, auf der schwarzen Hälfte zwei weisse Parallellinien von derselben Dicke und Distanz.

Nun wurden mit Hülfe des Makroskops Ausgleichungen gemacht. Die Entfernungen, welche der Aufgabe entsprachen (unser *E*) waren: für die weissen Linien auf schwarzem Grunde 64,5 Zoll Par., 66, 64, 66,5, 65, 64,5, 65,5, 68, 64, 64,5, im Mittel 65,25″.

Für die schwarzen Linien auf weissem Grunde 84,5 Zoll, 83, 83, 86,5, 84,5, 84,5, 84, 84, 85, 85, im Mittel 84,4″.

Die Sehweite betrug approximativ in allen Versuchen 330^{mm}, und berechnen sich hieraus die Werthe:

		ζ	β
I	weisse Linien	0,0043mm	0,0043mm
II	schwarze Linien	0,0033	0,0033

Da dem Vorhergehenden zufolge β und ζ in umgekehrter Richtung wachsen, so müsste der Zerstreuungskreis der schwarzen Linien mit Rücksicht auf das Sinken von β grösser geworden sein. Er ist aber kleiner geworden, und ergiebt sich hieraus, dass die von dem Schwarzen abhängige Verkleinerung des Zerstreuungskreises noch mächtiger ist, als sie sich in vorstehenden Zahlen darstellt.

Versuch 8.

Ueber dieselbe Frage von Herrn Dr. Schweigger-Seidel angestellt. Die Dicke der Linien betrug diesmal 1^{mm}, die Distanz 3^{mm}. Die Versuche wurden nach dem Muster der vorhergehenden angestellt, und ergab sich der Werth E

für die weissen Linien auf schwarzem Grunde in Zollen: 25, 22, 24, 24, 24,5, 26, 25, 25, 23, 23,5, im Mittel 24,2;

für die schwarzen Linien auf weissem Grunde: 35, 31, 33, 32,5, 33,5, 32, 32, 34,5, 33,5, 34,5, im Mittel 33,15.

Die Sehweite betrug für die weissen Linien 307^{mm}, für die schwarzen 320^{mm}, und berechnen sich hieraus die Werthe

	ζ	β
weisse Linien	0,0069mm	0,0069mm
schwarze Linien	0,0046	0,0046

ein Resultat, welches mit dem des vorhergehenden Versuches übereinstimmt.

§ 18. Die Grösse der Irradiation ist von dem Unterschiede der Lichtstärke des Objectes und seines Grundes abhängig.

Da die Lichtzerstreuung in sehr merklicher Weise von der Grösse der Netzhautbilder abhängt, so mussten die Versuche so angestellt werden, dass sie in allen Parallelversuchen constant blieb. Dies wurde dadurch erreicht, dass in allen Versuchen dieselben Linien bei derselben Entfernung E makroskopisch betrachtet wurden, während nur die Entfernung der als Lichtquelle benutzten Stelllampe von dem Objecte Veränderung erfuhr. Unter diesen Umständen mussten die Linien natürlich bewegliche sein, und war die Aufgabe eines Assistenten, die Distanz derselben, mit Hülfe des Schraubenmikrometers, so lange zu ändern, bis der Beobachter die Ausgleichung für hergestellt erachtete.

In einem ersten Versuche benutzte ich schwarze Linien von 1^{mm} Dicke auf weissem Grunde. E war constant $649,6^{mm}$, die Sehweite unveränderlich 314^{mm}. Die Intensität der Beleuchtung wurde 4mal verändert, indem die Stelllampe abwechselnd eine Entfernung von 150, 300, 450 und 600^{mm} erhielt. Die in der nachstehenden Tabelle unter den Lampenabständen notirten Zahlen

bezeichnen die Distanzen der Parallellinien, welche der Gleichung zu genügen schienen.

Versuch 9.

Beobachtung	Lampen-Abstände. 150mm	300mm	450mm	600mm
1— 4	1,500mm	1,642mm	1,791mm	2,071mm
5— 8	1,568	1,614	1,877	2,007
9—12	1,496	1,835	1,868	2,079
13—16	1,643	1,818	1,832	2,006
17—20	1,558	1,800	1,875	2,145
21—24	1,551	1,828	1,954	2,023
Mittel	1,553	1,756	1,866	2,055

Da die Abstände der Lampe sich wie 1, 2, 3, 4 verhalten, so verhalten sich die Lichtintensitäten wie 16, 9, 4, 1. Nun combiniren sich die Werthe wie folgt.

Lichtintensität	ζ	β
16	0,0018mm	0,0068mm
9	0,0025	—
4	0,0029	—
1	0,0035	—

Da das Schwarz der Linien von den Lichtveränderungen nicht influenzirt wird, so ändern sich die Lichtunterschiede zwischen den schwarzen Linien einerseits und dem weissen Grunde andrerseits genau so wie die Lichtintensitäten, und da β als constanter Werth ohne Einfluss auf ζ ist, so ergeben die Veränderungen der ζ-Werthe den Einfluss der Lichtdifferenzen. Dem Versuche zufolge würde mit Zunahme der Lichtdifferenz die Grösse der Lichtzerstreuung abnehmen.

Versuch 10.

Der Versuch wurde von Hrn. Dr. Schweigger-Seidel nach dem Muster des vorigen, und zwar genau unter denselben Bedingungen angestellt. Die Distanzen der Parallellinien, welche der Gleichung genügten, waren folgende.

Beobachtung	Lampen-Abstände. 150mm	300mm	450mm	600mm
1 — 4	1,310mm	1,370mm	1,500mm	1,571mm
5— 8	1,356	1,338	1,615	1,730
9—12	1,325	1,506	1,637	1,805
13—16	1,375	1,546	1,517	1,700
17—20	1,330	1,571	1,645	1,680
21—24	1,316	1,493	1,584	1,668
im Mittel	1,335	1,471	1,578	1,692

Hieraus findet sich

Lichtintensität	ζ	β
16	0,0011mm	0,0068mm
9	0,0016	—
4	0,0019	—
1	0,0023	—

Das Resultat des Versuches entspricht vollständig dem des vorigen.

Versuch 11.

Alle Versuchsbedingungen, mit Ausnahme der Farbe der Linien, bleiben unverändert dieselben. Ich benutze diesmal weisse Linien auf schwarzem Grunde.

Beobachtung	Lampen-Abstände. 150mm	300mm	450mm	600mm
1— 4	2,200mm	2,396mm	2,455mm	2,620mm
5— 8	2,190	2,464	2,500	2,650
9—12	2,222	2,392	2,484	2,595
13—16	2,224	2,364	2,557	2,698
17—20	2,299	2,461	2,549	2,730
21—24	2,262	2,389	2,534	2.671
im Mittel	2,233	2,411	2,513	2,661

Hieraus berechnen sich folgende Werthe:

Lichtintensität	ζ	β
16	0,0042mm	0,0068mm
9	0,0048	—
4	0,0051	—
1	0,0056	—

was ebenfalls zu dem Vorigen stimmt. Es hat also die Verminderung des Lichtunterschiedes eine zunehmende Verbreiterung des

Objectes auf Kosten des Grundes zur Folge, und zwar unabhängig von der Vertheilung des Weissen und Schwarzen, d. h. unabhängig davon, ob das Object weiss auf schwarzem Grunde dargestellt wird, oder umgekehrt.

Dieses Ergebniss ist sehr auffallend. In der Regel bewirkt Verminderung des Lichtunterschiedes eine Beschränkung der Irradiation des Weissen, gleichviel, ob es dem Objecte angehört oder dem Grunde.

Experimentirt man z. B. mit verschiedenfarbigen aber gleich grossen Scheiben auf verschiedenfarbigem Grunde, so erscheint auf schwarzem Grunde eine weisse Scheibe grösser als eine graue, und auf weissem Grunde eine schwarze Scheibe kleiner als eine graue. Diese Erfahrungen widersprechen den unter Nr. 9, 10, 11 mitgetheilten, und es hat mir nicht gelingen wollen den Widerspruch aufzulösen. Obschon erfolglos in der Hauptsache haben die von mir angestellten Versuche doch eine beachtenswerthe Seite, wie sich aus Nachstehendem ergeben dürfte.

§ 19. Auf einer Tafel, deren eine Hälfte weiss, die andere schwarz ist, sind neben zwei grauen Scheiben eine weisse und eine schwarze in der Ordnung angebracht, wie die beistehende Figur ausweist.

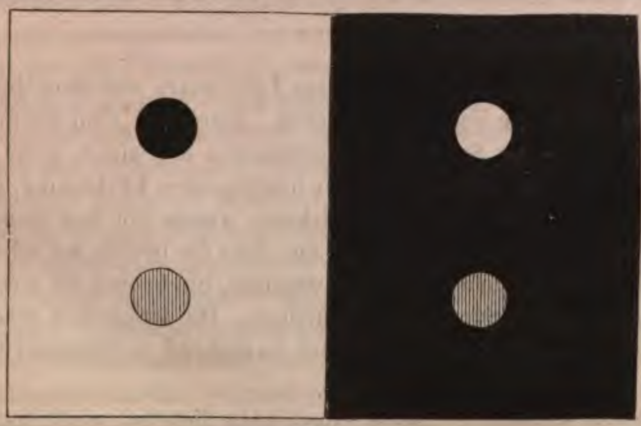


Fig. 1.

Die Scheiben haben Durchmesser von 50^{mm}, und ihr gegenseitiger Abstand in senkrechter Richtung ist eben so gross. Die

Farbe der beiden grauen Scheiben ist vollkommen gleich und entspricht einem ziemlich dunkeln Aschgrau.

Im Nachstehenden bezeichne ich

die weisse Scheibe mit W,
die graue auf schwarzem Grunde mit Gs,
die graue auf weissem Grunde mit Gw,
die schwarze mit S.

Anlangend den Lichtunterschied zwischen den Scheiben und deren Grunde, so ist einleuchtend, dass derselbe für W und S gleich gross und grösser als für Gw und Gs ist. Dagegen kann der Lichtunterschied, unter welchem die grauen Scheiben gesehen werden, je nach der Stärke der Beleuchtung sehr verschieden sein.

Bezeichnen wir die Lichtstärke des Weissen mit a, die des Schwarzen mit 0 (Null), und die des Grauen mit $a - x$, so ist der Lichtunterschied in den 4 gegebenen Fällen, abgesehen vom Vorzeichen:

für S und $W = a$,
für $Gs = a - x$,
für $Gw = x$.

Nur wenn x zufällig $= \frac{a}{2}$ wäre, würde der Lichtunterschied für beide graue Scheiben derselbe sein. Er ist grösser für Gs als für Gw, wenn x kleiner als $\frac{a}{2}$.

Mit der in Figur 1 abgebildeten Tafel lassen sich über die uns vorliegende Frage Versuche anstellen. Betrachtet man die Scheiben in passender Sehweite, so erscheinen alle gleich gross, betrachtet man sie dagegen in einer ungeeigneten Entfernung, so ist dies nicht der Fall. Die erste Wirkung, welche mit dem Beginnen der Lichtzerstreuung eintritt, ist die, dass die beiden auf schwarzem Grunde gelegenen Scheiben wachsen, die beiden auf weissem Grunde befindlichen dagegen abnehmen. Die 4 Scheiben erscheinen, von der grössten zur kleinsten fortgehend, in folgender Ordnung: W, Gs, Gw, S.

Diese Reihenfolge bleibt indess nicht dieselbe, wenn man die Beleuchtung der Tafel und der auf ihr angebrachten Scheiben verändert. Solche Veränderungen bewirke ich entweder dadurch, dass ich graue Glastafeln, von verschiedenen Graden der Dunkel-

heit, vor die Augen halte, oder die Flamme einer Stelllampe, welche als Lichtquelle dient, allmählich verkleinere und wieder vergrössere.

In nachstehender Tabelle bezeichne ich die scheinbare Grösse der Scheiben mit den Zahlen 1, 2, 3, 4, und verstehe unter 1 das Maximum der Grösse. Die Grade der Lichtstärke werden durch die römischen Ziffern bestimmt, so dass I das Maximum der Helligkeit bedeutet.

Versuch 12.

	Scheiben			
Lichtstärke	*W*	*Gs*	*Gw*	*S*
I	1	2	3	4
II	1	2	3	3
III	1	2	3	2
IV	1	3	3	2
V	1	3	2	1
VI	2 (?)	4	3	1 (?)

Vorstehende Tabelle ist nicht als die Darstellung einer einzelnen bestimmten Versuchsreihe, sondern als eine Zusammenstellung der Ergebnisse wiederholter Versuche an mir und Andern zu betrachten. Die Zahlen, welche die relativen Grössen der Scheiben bezeichnen, sind nur in den Querreihen der Tafel, also bei gleichen Lichtstärken, maassgebend, und bezeichnen nur die Grössenfolge, nicht bestimmte, den Zahlen selbst entsprechende Grössenwerthe. Es bedarf daher einer besondern Erwähnung, dass mit abnehmender Lichtstärke die auf der schwarzen Hälfte der Tafel gelegenen Scheiben *W* und *Gs* kleiner, dagegen die auf der weissen Hälfte befindlichen *Gw* und *S* grösser werden. Dies ergiebt sich ganz unzweifelhaft, wenn man die Scheiben abwechselnd mit blossen Augen, und durch eine mit dunkeln Plangläsern versehene Lorgnette betrachtet. Mit jeder Verdunkelung des Sehfeldes contrahirt sich die weisse und expandirt sich die schwarze Scheibe, während bei jeder Erhellung des Sehfeldes die entgegengesetzten Erfolge in auffälligster Weise auftreten.

Da nun die Abnahme der Lichtstärke und die Verminderung des Lichtunterschiedes zwischen Object und Grund in meinen Versuchen zusammenfällt, so besagen dieselben, dass weisse Ob-

jecte auf schwarzem Grunde durch Verminderung des Lichtunterschiedes verkleinert werden, obschon diese Verkleinerung, wie noch ausführlicher zu zeigen, eine endliche Grenze haben dürfte. Die in Versuch 11 mitgetheilten Erfahrungen besagten dagegen, dass weisse Objecte auf schwarzem Grunde durch Verminderung des Lichtunterschiedes vergrössert werden.

Je mehr man die Beleuchtung abschwächt, um so undeutlicher werden selbstverständlich die betrachteten Scheiben, und um so schwieriger wird es, die Grössen derselben zu vergleichen. Mit Rücksicht hierauf wird das unter VI der Tabelle notirte Resultat, nach welchem $S > W$, nur mit Vorsicht hinzunehmen sein. Dagegen glaube ich für das unter V verzeichnete Verhältniss $Gs > Gw$ mit Bestimmtheit einstehen zu können. Hieran knüpfen sich dann folgende Betrachtungen.

Man hat lange Zeit mit dem Worte Irradiation ausschliesslich die Verbreiterung des Weissen auf Kosten des Schwarzen bezeichnet und angenommen, dass in allen Fällen, wo Lichtzerstreuung die Grenzen des Weissen und Schwarzen verrücke, das Weisse an Umfang gewinne. Zu dieser Auffassung passt die Erfahrung, dass die weisse und graue Scheibe auf schwarzem Grunde grösser erscheinen, als die graue und schwarze Scheibe auf weissem Grunde. Würde der Durchmesser der Scheibe mit D und der von der Lichtzerstreuung abhängige Zuwachs des Durchmessers mit $\mp d$ bezeichnet, so hätten wir für die weisse Scheibe den Durchmesser $D + d$, und für die schwarze den Durchmesser $D - d$, denn da die Veränderung des Diameters in beiden Fällen von derselben Ursache ausgeht, kann d nicht verschiedene Werthe, sondern nur verschiedene Vorzeichen haben.

Wäre diese Auffassung allgemein gültig, so dürfte in unsern Versuchen eine helle Scheibe auf dunkelem Grunde nie kleiner erscheinen als eine dunkle auf hellem Grunde. Im äussersten Falle könnten beide Scheiben gleich gross erscheinen, ein Fall, welcher erst mit dem Aufhören der Irradiation und dem Wegfall von d eintreten könnte. Versuch 12 beweist aber, dass die hellen Scheiben auf dunkelem Grunde kleiner erscheinen können als die dunkelen Scheiben auf hellem Grunde. Es scheint also, dass die Irradiation mit fortschreitender Schwächung des Lichtes negativ werde und dann Verschmäle-

rung des Weissen, oder, was dasselbe sagt, Verbreiterung des Schwarzen bedinge.

Diese Annahme hat nichts Widerstrebendes, wenn man bedenkt, dass die Irradiation im üblichen Wortsinne, d. h. die Verbreiterung des Weissen, dadurch zu Stande kommt, dass ein Grenzstreifen des Schwarzen auf Unkosten des benachbarten Weissen erleuchtet und eben dadurch dem letzteren annectirt wird. Das Weisse hat in der Nachbarschaft des Schwarzen einen Lichtverlust erlitten und geht durch immer tieferen Schatten allmählich in Schwarz über. Wird nun die Beleuchtung geschwächt, so werden zunächst die in das Gebiet des Schwarzen eindringenden Lichtstrahlen unfähig, ihre Eroberung zu behaupten (*S* und *W* erscheinen gleich gross); wird aber die Beleuchtung noch schwächer, so kann das Licht selbst die Grenzen des eignen Gebietes nicht halten, es weicht vor dem eindringenden Dunkel zurück, und bedingt also eine Irradiation mit Verschmälerung des Weissen.

Der Versuch mit den 4 Scheiben bietet noch ein zweites Beispiel von Umkehrung der Grössenverhältnisse, welches Beachtung verdient. Die zu Versuch 12 gehörige Tabelle lehrt, dass auf weissem Grunde die graue Scheibe von vorn herein grösser erscheint als die schwarze Scheibe, dass aber mit abnehmender Lichtstärke das Verhältniss sich umkehrt. Diese Erfahrung ist für die Frage nach dem Einflusse des Lichtunterschiedes nicht gleichgültig.

Von den beiden in Vergleich gestellten Scheiben muss diejenige den Eindruck der kleineren machen, welche durch die Irradiation des Weissen mehr Abbruch erleidet. Da nun bei grosser Lichtstärke *S*, bei geringer *Gw* kleiner erscheint, obschon die grössere Lichtdifferenz constant auf der Seite von *S* ist, so kann die grössere Ausdehnung der Irradiation nicht unbedingt von der vorwiegenden Grösse des Lichtunterschiedes abhängen. Auch wenn letztere die Irradiation des Weissen begünstigt, wie kaum zu bezweifeln, muss es Umstände geben, welche entgegengesetzte Erfolge bedingen. Möglich, dass diese Umstände, welche wir noch nicht kennen, die in meinen Versuchen hervortretenden Widersprüche nach sich ziehen.

§ 20. Die Grösse der wahrnehmbaren Irradiation ist von der Grösse der Lichtzerstreuung abhängig, und scheint die Art der Abhängigkeit mit

der beim Lichtunterschiede bemerkten übereinstimmend.

Wenn man in makroskopischen Ausgleichungsversuchen durch absichtlich fehlerhafte Einstellung des Rohres undeutliche Bilder erzeugt, so findet sich, dass *Z* mit der Zunahme der Lichtzerstreuung wächst, gleichviel, ob man mit weissen oder schwarzen Parallellinien arbeitet. Die Verbreiterung der Linien scheint nur in der Undeutlichkeit der Bilder eine Grenze zu haben, jedenfalls habe ich ein Umschlagen der Verbreiterung in Verschmälerung nicht wahrgenommen.

Operirt man mit den in Versuch 12 angewandten 4 Scheiben, so kann die Lichtzerstreuung entweder durch allmähliche Vergrösserung der Sehweite, oder, falls das Auge in jeder Entfernung scharf sieht, durch Benutzung geeigneter Brillen, beliebig vermehrt werden. Geschieht dies stufenweise, so ändern sich die relativen Grössen der Scheiben in derselben Reihenfolge, welche bei Abnehmen der Lichtunterschiede eintritt und in der Tabelle des Versuchs 12 verzeichnet ist. Indess kann man durch das Mittel der Lichtzerstreuung allein, also bei constanter Lichtstärke, nicht immer alle in der Tabelle bemerkten Variationen zur Anschauung bringen. Ist die Beleuchtung der Scheiben eine sehr lebhafte, so wird sich die Grössenmetamorphose nur etwa bis zur dritten Reihe (Querreihe III der Tabelle) verfolgen lassen.

Die wichtigste Frage, welche sich aufdrängt, ist die, ob die mit zunehmender Lichtzerstreuung wachsende Grösse der physikalischen Zerstreuungskreise nothwendig eine Zunahme ihrer scheinbaren Grösse bedinge, oder ob letztere, nachdem sie eine Zeit lang gewachsen, wieder abnehme. Die Umkehr des Grössenverhältnisses der Scheiben *Gs* und *Gw*, welche nicht blos durch Abschwächung der Lichtstärke, sondern auch durch Steigerung der Lichtzerstreuung hervorgebracht werden kann, spricht für die zweite der beiden Annahmen. Denn da die graue Scheibe auf weissem Grunde von vorn herein durch den Einfluss der Lichtzerstreuung an Umfang verliert und nur in Folge dieses Verlustes anfänglich kleiner erscheint, als die graue Scheibe auf schwarzem Grunde, so deutet das nachmalige Vorwiegen ihrer scheinbaren Grösse, welches mit dem Anwachsen der Zerstreuungskreise ein-

tritt, darauf hin, dass diese grösseren Zerstreuungskreise ihren Umfang weniger beschränken als vorher die kleineren.

Freilich stehen dieser Auffassung theoretische Schwierigkeiten entgegen, auf deren Beleuchtung ich später zurückkomme.

§ 21. Die Grösse der Irradiation unterliegt auch in gesunden Augen sehr bedeutenden individuellen Schwankungen. Selbstverständlich müssen Versuche, welche über die Breite dieser Schwankungen Aufschluss geben sollen, unter gleichen Bedingungen angestellt werden. Da nun die Herstellung vollkommen gleicher Bedingungen in Versuchen mit verschiedenen Personen und zu verschiedenen Zeiten nicht möglich ist, so können die im Nachstehenden notirten Schwankungen der Irradiation nur für angenäherte Werthe gelten.

Ueber das Versuchsverfahren ist folgendes zu bemerken. In allen Fällen wurden makroskopische Ausgleichungsversuche bei hellem Tageslichte gemacht. Beobachtet wurden zwei schwarze, 1^{mm} dicke Parallellinien auf weissem Grunde. Diese Linien waren beweglich, und wurde die dem Beobachter gestellte Aufgabe, die Dicke der Linien und deren gegenseitigen Abstand auszugleichen, durch Regulirung der Distanz vermittelt.*) Die Hauptaufgabe war, dafür zu sorgen, dass die Grösse der Netzhautbilder in allen Versuchen sich gleich bleibe, da von dieser, wie oben erwiesen, die Irradiation vorzugsweise abhängt.

Soll das Netzhautbild β, welches dem Gesichtsobjecte B entspricht, eine constante Grösse erhalten, so muss man berücksichtigen, dass B unter dem Einflusse einer doppelten Verkleinerung gesehen wird. Die eine geht vom optischen Apparate aus, die andere vom Auge. Bezeichnen wir die gesammte Verkleinerung, welche das Object im Netzhautbilde erfährt, mit $^1/_v$, ferner den vom Auge ausgehenden Antheil derselben mit $^1/_m$ und den vom Makroskop abhängigen mit $^1/_n$, so ist die Verkleinerung

$$^1/_v = {}^1/_m \cdot {}^1/_n$$

und genügt es zwei dieser Werthe zu kennen, um den dritten zu finden.

Ein erster an mir selbst angestellter Versuch hatte $^1/_v = {}^1/_{147,1}$ ergeben, und wurde diese Verkleinerung, bei welcher $\beta = 0{,}0068^{mm}$,

*) Versuche unter Anwendung der A-Methode § 7, Anmerkung.

in allen Versuchen festgehalten. Für jeden andern Beobachter wurde nun $^1/_m$ durch Aufsuchung der passendsten Sehweite ermittelt. Offenbar ist $^1/_m = {}^o/_p$, wenn p den Abstand des Objectes vom mittleren Knotenpunkte des Auges und o den Abstand desselben Punktes von der Netzhaut beim deutlichen Sehen bezeichnet. Mit Hülfe dieser beiden gegebenen Werthe lässt sich die geforderte makroskopische Verkleinerung $^1/_n$ berechnen, und ist darüber, wie man eine $n$fache Verkleinerung herbeiführen könne, das Nöthige schon bemerkt worden (§ 6).

In allen nachstehenden Versuchen sind die ζ-Werthe aus 10 Beobachtungen abgeleitet, und also, wie oben erwiesen, von den wahrscheinlichen Fehlern unabhängig. Die Sehweite ist in jedem Falle unter S angegeben.

Versuch 13.

Von dem Verfasser angestellt. Auge von mittlerer Schärfe, sehr dauerhaft, wenig reizbar, in geringem Grade kurzsichtig. Das Accommodationsvermögen schon seit Jahren fast vollständig geschwunden. $S = 313^{mm}$. $\zeta = 0,0020^{mm}$.

Versuch 14.

Von Hrn. Dr. Schweigger-Seidel. Junges, in jeder Beziehung gutes, durch vieles Mikroskopiren geübtes Auge. $S = 313^{mm}$. $\zeta = 0,0014^{mm}$.

Versuch 15.

Angestellt von O. Volkmann, 27 Jahr alt. Ausserordentlich scharfes Auge. $S = 313^{mm}$. $\zeta = 0,0012^{mm}$.

Versuch 16.

Von Hrn. Prof. Welcker. Ausserordentliche Kurzsichtigkeit mit grosser Scharfsichtigkeit verbunden. Sehr geübtes Augenmaass. Die Versuche sind mit Benutzung einer starken Brille angestellt worden und ist in Folge dessen $S = 287^{mm}$. $\zeta = 0,0013^{mm}$.

Versuch 17.

Von einer Dame im 52sten Lebensjahre angestellt. Das von Natur vortreffliche Auge ist im spätern Leben sehr weitsichtig geworden. $S = 620^{mm}$. $\zeta = 0{,}00175^{mm}$.

Versuch 18.

Von Hrn. Dr. Colberg. Junge gute Augen, durch mikroskopische Forschungen sehr geübt. $S = 313^{mm}$. $\zeta = 0{,}0022^{mm}$.

Versuch 19.

Von Hrn. stud. med. Rathmann. Sehr kurzsichtig, daher die Versuche mit Hülfe der Brille angestellt. $S = 195^{mm}$. $\zeta = 0{,}00106^{mm}$.

Versuch 20.

Von Hrn. stud. med. Jahn. Gute Augen. $S = 313^{mm}$. $\zeta = 0{,}00176^{mm}$.

Versuch 21.

Von Hrn. stud. med. Krüger. $S = 331^{mm}$. $\zeta = 0{,}00034^{mm}$.

Versuch 22.

Von E. Volkmann, 31 Jahr alt. Vortreffliches Sehvermögen. $S = 331^{mm}$. $\zeta = 0{,}00028^{mm}$.

Obschon die Versuche unter möglichst gleichen Bedingungen und nur an gesunden, meistens jüngern Augen angestellt worden sind, schwanken die Durchmesser der sensibeln Zerstreuungskreise doch um das 8fache. Da die von mir notirten ζ-Werthe von den wahrscheinlichen Fehlern überhaupt nicht afficirt werden, so lassen sich die grossen Schwankungen derselben nur auf die Individualität der Beobachter, und nicht, wie Helmholtz vermuthet, auf die Subtilität der experimentellen Aufgabe beziehen.

§ 22. Die Irradiation wird durch die geringste Ermüdung des Auges vergrössert. In Versuchen mit Messungen ist hierauf Rücksicht zu nehmen. So darf man beim

Ausgleichen der Linienbreite und Liniendistanz die Sorgfalt der Beobachtung durchaus nicht in eine lang anhaltende Beprüfung legen. Eine Messung, welche viel Zeit in Anspruch genommen, führt in der Regel zu einer beträchtlichen Ueberschätzung der Irradiation. Man muss also die Beobachtung, auch wenn man noch nichts Genaues gefunden, zur rechten Zeit abbrechen, um sie nach einer kurzen Pause von neuem aufzunehmen und das Fehlende nachzuholen.

Mit Rücksicht auf die Beschaffenheit meines Auges darf ich die Beobachtung kaum länger als 15 bis 20 Secunden fortsetzen, doch bedarf es auch nur äusserst kurzer Pausen, um die Sehkraft wieder herzustellen. Habe ich mich durch wiederholte Beobachtungen überzeugt, dass der Gleichung Genüge geschehen, und betrachte nun die Linien anhaltend, so rücken sie in kürzester Frist immer näher an einander, und es kann, besonders bei sehr feinen Linien, vorkommen, dass sie nach Ablauf etwa einer Minute vollständig verschmelzen. Mehrere meiner Freunde und Schüler haben an sich entsprechende Erfahrungen gemacht.*)

Das Anwachsen der Irradiation mit zunehmender Ermüdung bietet dem Verständniss Schwierigkeiten. Es kann überhaupt nur zwei Ursachen haben, entweder eine physikalische, oder eine physiologische. Im erstern Falle erfahren die Zerstreuungskreise des Lichtes eine reale Vergrösserung, im letztern nicht. Sie erscheinen nur grösser, weil die Netzhaut das vom Centrum gegen die Peripherie des Kreises abgeschwächte Licht in grösserer Ausdehnung als Licht wahrnimmt. Dies scheint nur dann möglich, wenn die Empfindlichkeit des Sehnerven für Lichtreiz gesteigert wird, und ist nicht glaublich, dass die Ermüdung eine Steigerung herbeiführen sollte.

Andrerseits ist nicht wohl abzusehn, wie Ermüdung einen Zuwachs der Irradiation durch eine reale Vergrösserung der Zer-

---

*) Die Resultate der Ausgleichungsversuche sind daher in sehr merklicher Weise von der Uebung abhängig. Je mehr man gelernt hat, die vom Versuche geforderte Gleichung rasch zu übersehn und in Folge dessen rasch zu operiren, um so kleiner werden die Durchmesser der Zerstreuungskreise befunden. Aber selbst geübte Beobachter werden an einem Tage langsamer als am andern arbeiten, und mag hierin ein Hauptgrund liegen, warum Versuchsreihen, welche man zu verschiedenen Zeiten angestellt hat, bisweilen auffallend von einander abweichen

streuungskreise, also durch Eingriffe in den lichtbrechenden Vorgang hervorzubringen im Stande sein sollte. Wäre das Auge des Beobachters selbstthätig accommodirt, so wäre denkbar, dass die hierzu erforderlichen motorischen Kräfte erschlafften und könnte in Folge dessen eine unzureichende Accommodation und hiermit vermehrte Lichtzerstreuung allerdings eintreten. Aber alle meine Versuche sind bei bequemster Sehweite angestellt, und sollte man nicht meinen, dass unter solchen Umständen die Accommodation mit Anstrengungen verbunden wäre, welche die zu den innern Bewegungen erforderlichen Kräfte schnell erschöpfte.*)

§ 23. Die Reflexion auf den Gegensatz von Object und Grund im Sehfelde influenzirt die Irradiation.

Zu Versuchen über das eben erwähnte Verhältniss benutzte ich folgenden Apparat. Eine weisse Tafel ist mit schwarzen Parallellinien bezogen. Die Dicken der Linien sind den bezüglichen Zwischenräumen gleich und betragen 1mm. Unter diesen Umständen ist ein bestimmter Gegensatz zwischen Object und Grund nicht gegeben, vielmehr hängt es von der Willkür des Beobachters ab, dem Weissen oder dem Schwarzen die Bedeutung des Grundes beizulegen.

Vor der Tafel befindet sich eine sehr dünne, verschiebbare, zur einen Hälfte weisse, zur andern Hälfte schwarze Platte, in welche viereckige Fenster eingeschnitten sind.

Durch ein grosses Fenster der weissen Hälfte des Schiebers erblickt man 20 Linien, nämlich 10 schwarze und 10 weisse, und ist also in dem eingerahmten Theile der Tafel der Gegensatz von Object und Grund aufgehoben. Ich bezeichne diesen Theil mit Object I.

*) Erst bei der Durchsicht des Druckbogens bin ich auf eine Erklärung verfallen, welche alle Schwierigkeiten beseitigen dürfte. In den Versuchen wurden schwarze Fäden gegen den hellen Himmel betrachtet, die Irradiation war also überall die des Schwarzen. Eine solche beruht aber darauf, dass sich der weisse Grund vor dem schwarzen Objecte zurückzieht, und dadurch letzterem Gelegenheit giebt sich auszubreiten. Wenn nun mit der Ermüdung eine geringere Empfänglichkeit für den Lichtreiz eintritt, so wird aus physiologischen Gründen das Lichte vor dem Schwarzen zurückweichen und also eine Vergrösserung der Irradiation, eben dieses Schwarzen, zur Folge haben.

Durch ein kleineres Fenster der weissen Hälfte des Schiebers werden nur 2 schwarze Linien mit ihrem weissen Zwischenraume wahrgenommen, und hat dies mit Rücksicht auf die weisse Einrahmung den Erfolg, dass 2 schwarze Linien als Objecte auf weissem Grunde auftreten. Ich bezeichne dies mit Object II.

In der schwarzen Hälfte des Schiebers endlich befindet sich ein kleines Fenster, welches 2 weisse Linien mit deren schwarzem Zwischenraum aufdeckt, und welches diese Linien als Objecte, dagegen das Schwarz des Zwischenraumes und der Umgebung als Grund aufzufassen nöthigt. Im Nachstehenden ist dies als Object III aufgeführt.

Wenn ich diese 3 Objecte makroskopisch beobachte, und zwar unter Umständen, welche eine ungefähr 270fache Verkleinerung derselben im Netzhautbilde veranlassen, so zeigt sich Folgendes.

Versuch 23.

Mit Object I. Die weissen und die schwarzen Linien zeigen keinen merklichen Grössenunterschied. Zwar giebt Helmholtz an, dass in einem Gitter aus feinen dunkeln Stäben, mit Zwischenräumen, welche genau eben so breit sind wie die Stäbe (gewöhnliche Drahtgitter zu Interferenzversuchen), die Zwischenräume vor einem hellen Grunde stets breiter als die Stäbe erscheinen; indess war in dem von mir betrachteten Gitter die Verbreiterung der weissen Zwischenräume eben nicht wahrnehmbar, und veranlasste zu der Frage, woran das liege?

Versuch 24.

Object II lässt unter vollkommen gleichen Versuchsbedingungen eine sehr auffällige Irradiation erkennen. Die schwarzen Linien erscheinen ungefähr doppelt so dick als die zwischen ihnen gelegene weisse Linie von objectiv gleicher Stärke.

Versuch 25.

Mit Object III. Die Irradiation ist sehr beträchtlich. Die weissen Linien erscheinen mindestens doppelt so breit als der schwarze Zwischenraum von objectiv gleicher Stärke.

Dieselbe schwarze Linie erscheint also im ersten Falle *ebenso dick* als die angrenzende, objectiv gleich starke, weisse Linie, im zweiten Falle dagegen *doppelt*, im dritten *halb* so dick als diese. Unter allen bisher beachteten Schwankungen der Irradiation sind diese bei weitem die merkwürdigsten, indem jede Aussicht sie auf physikalische Ursachen zurückzuführen abgeschnitten scheint. Selbst die Erklärung, welche ich für die Verbreiterung des Schwarzen auf Kosten des Weissen durch Annahme einer positiven und negativen Irradiation zu geben suchte, ist im vorliegenden Falle unzureichend, weil die Lichtdifferenz zwischen dem Weissen und Schwarzen unverändert bleibt. Ueberhaupt sind die Bedingungen der Irradiation in den 3 vorliegenden Parallel-Versuchen, wenn wir den Gegensatz zwischen Object und Grund ausnehmen, durchaus dieselben, und bleibt also nichts übrig, als die Abwandlungen der Irradiation mit diesem psychologischen Verhältnisse in Beziehung zu setzen. Verbreitert erscheinen diejenigen Linien, welche im Sehfelde als Objecte auftreten, nämlich in Vers. 24 die schwarzen Linien auf weissem Grunde, in Vers. 25 umgekehrt die weissen Linien auf schwarzem Grunde. Weder die einen noch die andern erscheinen verbreitert in Vers. 23, wo weder die weissen noch die schwarzen sich als Objecte geltend machen.

§ 24. Im Vorhergehenden sollten nur Thatsachen vorgelegt werden, der Versuch, diese Thatsachen unter allgemeinere Gesichtspunkte zu bringen, ist die Aufgabe des Folgenden.

Es kommt im Wesentlichen auf die Beantwortung zweier Fragen an, nämlich erstens: Warum vergrössert sich, wenn eine helle und eine dunkle Fläche an einander grenzen, die eine auf Kosten der andern? und zweitens: Warum ist es bald die helle, bald die dunkle Fläche, welche sich auf Kosten der andern vergrössert? Dass diese Vergrösserungen einerseits mit der Zerstreuung des Lichtes im Auge, andrerseits mit der Lichtstärke der bezüglichen Flächen ursächlich zusammenhängen, ist erfahrungsmässig nachgewiesen, aber unklar ist vorläufig das functionelle Verhältniss zwischen der Ursache und der Wirkung. Es handelt sich also um die schwierige Frage, welche Veränderungen entstehen in den Grössenerscheinungen, wenn sich die Lichtzerstreuung oder Lichtstärke in dieser oder jener Richtung verändern?

Wenn das von einem leuchtenden Punkte ausgehende Licht, statt in einem Punkte der Netzhaut vereinigt zu werden, in dem Umfange einer Scheibe zerstreut wird, so ist in Folge dieser Zerstreuung das Netzhautbildchen des betrachteten Punktes in gleichem Maasse grösser und lichtärmer geworden. Während nun die scheinbare Grösse der Netzhautbilder in Folge zunehmender Extension wächst, kann sie in Folge geminderter Lichtstärke abnehmen. Unter diesen Umständen kann die scheinbare Grösse mit der Lichtzerstreuung eben sowohl zunehmen als abnehmen, und wird es von der Intensität des Lichtes und von der Reizbarkeit der Netzhaut abhängen, welcher von beiden Erfolgen im speciellen Falle eintritt.

Die Lichtzerstreuung vermindert die Lichtstärke eines betrachteten Punktes natürlich nicht, wenn das durch Irradiation an die Nachbarschaft abgegebene Licht von dieser (wiederum durch Irradiation) ersetzt wird. Ein weisser Papierbogen verliert dadurch, dass man ihn aus unpassender Sehweite betrachtet, nicht an Helligkeit. Die Lichtzerstreuung vermindert die Lichtstärke eines betrachteten Punktes nur dann, wenn ein Lichtarmes in der Nähe liegt, welches unfähig ist das durch Irradiation erhaltene Licht in gleichem Maasse zurückzugeben. Wenn also eine weisse und schwarze Fläche an einander grenzen, so muss ein Grenzstreifen des Schwarzen von der Breite des Radius der Zerstreuungskreise, an Licht gewinnen, und umgekehrt muss ein Grenzstreifen des Weissen von gleicher Breite an Licht verlieren. Der Lichtverlust des weissen Grenzstreifens wird nach der Seite des Schwarzen zu immer grösser, der Lichtgewinn des schwarzen Grenzstreifens wird abwärts von der Seite des Weissen immer geringer. Das Weisse geht also in das Schwarze allmählich über. Die nachstehende Figur erläutert das Gesagte.

Sei b ein Punkt, wo eine schwarze Fläche von der Breite ab, und eine weisse Fläche von der Breite bc aneinander grenzen. Die Linie $a\ b\ c$ wird als Abscissenlinie benutzt, um die Ordinaten der Lichtstärke aufzutragen. Auf dem Schwarzen ist die Höhe der Ordinaten $= 0$, auf dem Weissen $= db = d'c$. Tritt nun eine derartige Lichtzerstreuung ein, dass der Radius des Zerstreuungskreises $= d\alpha = b\gamma$ ist, so bezeichnen $d'\ \alpha\ \beta\ \gamma\ a$ die Curve der

Lichtstärke. Der Bruchtheil $\alpha\beta\gamma$ dieser Curve versinnlicht also den allmählichen Uebergang des Lichten ins Lichtlose.

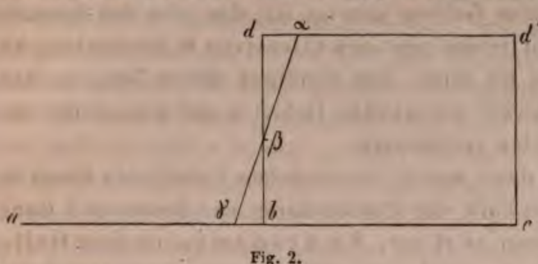


Fig. 2.

Nach dem Gange der eben besprochenen Curve zu schliessen, müsste sich zwischen das weisse und schwarze Feld ein graues eindrängen und jenes wie dieses verkleinern. Dies geschieht auch wirklich, wenn die Lichtzerstreuung beträchtlich und der Lichtunterschied der bezüglichen Flächen gross ist. Solche Fälle scheinen weder einer Erklärung noch eines besondern Namens zu bedürfen, und soll daher im Nachstehenden von denselben ganz abstrahirt werden.

Bei der Irradiation im engern Wortsinne (wo also ein graues Zwischenfeld nicht auftritt) scheinen mir zwei Umstände besonders beachtenswerth. Erstens nämlich, dass mit Rücksicht auf den allmählichen Uebergang des Lichten ins Lichtlose eine bestimmte physikalische Grenze zwischen beiden ganz fehlt, und zweitens, dass, mit Rücksicht auf die Unmerkbarkeit des Uebergangs, eine bestimmte Grenze zwischen beiden, das will sagen eine sensible Grenze, demohngeachtet existirt. Hieraus ergiebt sich das sehr Wichtige, dass die Bestimmung der Grenze von irgend welchem Empfindungsvorgange abhänge, also von einer Thätigkeit der Seele ausgehe.

Die Gesetzlichkeit, welche in den Vorgängen der Irradiation ganz unverkennbar ist, beweist, dass die Seele bei dieser Grenzregulirung nicht willkürlich verfahre. Es muss Umstände geben, durch welche sie determinirt wird, und unsere nächste Aufgabe geht dahin, sie ausfindig zu machen.

Man darf annehmen, dass die Seele beim Aufsuchen und Feststellen der durch die Lichtzerstreuung verwischten Grenze ihren Ausgangspunkt von der Seite des determinirenden Reizes nehme, und dass sie geneigt sei, den Erregungszustand, welcher von diesem Reize abhängt, festzuhalten und in das Gebiet des schwächeren Reizes hinüber zu tragen. Mit andern Worten: man darf an-

nehmen, dass die Seele bei Beurtheilung des Umfanges zweier undeutlich begrenzten Gebiete geneigt ist, das *plus* des intensiven Eindruckes mit einem *plus* des extensiven in Verbindung zu bringen, und dass sie unter dem Einflusse dieser Neigung den Umfang des sie stärker erregenden Gebietes auf Kosten des sie schwächer erregenden vergrössere.

Es fragt sich dann weiter, von welchen Umständen hängt in jedem vorliegenden Falle das Prädominiren des Reizes ab? Ganz offenbar liegen deren zwei vor. Es prädominirt das Helle vor dem Dunkeln, und das Object vor dem Grunde. Als Object wirkt im Sehfelde in der Regel derjenige Partialeindruck, welcher allen übrigen gegenüber als exceptioneller auftritt. In einem Haufen Erbsen wird eine vereinzelte Wicke, in einer Menge gebundener Bücher ein ungebundenes augenblicklich die Aufmerksamkeit in Beschlag nehmen, und eben dadurch erhebt sich das Exceptionelle zum Objecte der Betrachtung.

Diese beiden Bedingungen, welche primär das Maass des Reizes und secundär den Zug der Grenze bestimmen, gehen nicht nur unabhängig neben einander her, sondern können sogar in Widerstreit gerathen. Unter diesen Umständen kommt sehr viel darauf an, ob beide in gleicher Richtung oder in entgegengesetzter wirken. Nur derjenige Eindruck, welcher gleichzeitig von dem Objecte und dem stärkeren Lichte ausgeht, bedingt die mit der Irradiation verbundene Verbreiterung ohne Ausnahme. Wenn dagegen die beiden Bedingungen, statt sich zu unterstützen, gegen einander wirken, so kann vorkommen, dass die Irradiations-Erscheinungen ganz wegfallen. Jedenfalls wird die Verbreiterung unter solchen Umständen eine geringere sein, und muss die Grösse derselben von dem Unterschiede der sich entgegenstehenden Impulse abhängen.

In sofern nun die Grösse der Irradiation von den eben angeführten Bedingungen abhängt, verdient die Gesetzlichkeit, nach welcher letztere wirken, eine genauere Untersuchung. Einen Bezug hierauf hat folgende Betrachtung.

Wenn man ein schwarzes Viereck von 1mm□ in der Mitte eines weissen Quartblattes anbringt, so wird Jeder dieses Quadrat als Object und das umgebende Weisse als Grund auffassen. Wenn man dagegen das Viereck so gross macht, dass von dem Quart-

blatte nur ein weisser Rand von 1mm Breite übrig bleibt, so wird Niemand dieser Auffassung Raum geben, vielmehr wird man den weissen Rand für das Object, und das schwarze Viereck für den Grund nehmen. Wenn der Netzhaut zwei qualitativ verschiedene Reize geboten werden, gleichviel ob Weiss und Schwarz, oder die eine und die andere Farbe, so lenkt die Seele in der Regel dem extensiv kleineren Reize die vorwiegende Beachtung zu, und zwar um so sicherer, je kleiner er ist. Selbstverständlich muss die Gültigkeit dieses Satzes eine endliche Grenze haben, da es ein unwahrnehmbar Kleines giebt, indess wird hiermit die Präponderanz des Kleinen nur in gewisse Schranken zurückgedrängt, nicht aufgehoben.*)

§ 25. Ich behaupte also der Vorgang der Irradiation beruht darauf, dass von zwei neben einander gelegenen und ungleich hellen Feldern dasjenige verbreitert werde, welches auf die Seele den vorwiegenden Eindruck macht. Was aber das Prädominiren des Eindrucks anlangt, so ist dies von zwei Bedingungen abhängig, von dem Hellen im Gegensatz zum Dunkeln, und von dem Objecte im Gegensatz zum Grunde. Von diesem Gesichtspunkte aus sind die meisten Erscheinungen der Irradiation vollkommen verständlich.

Erstens erklärt sich nun die paradoxe Irradiation des Schwarzen auf einem weissen und hell erleuchteten Grunde. So lange man sich nur an die physikalische Ursache der Erscheinung, also an die Zerstreuung des Lichtes hält, und mit dem über die Grenze geworfenen Lichte nur die Vorstellung einer Expansion des die Raumanschauung bedingenden Netzhautgebietes verbindet, so lange bleibt die Irradiation eines Schwarzen auf weissem Grunde durchaus unverständlich. Sobald man dagegen die Bedeutung des Objectes als Reizmittel und den Einfluss des prädominirenden Reizes auf die Richtung der Irradiation berücksichtigt, ist die Möglichkeit, dass schwarze Objecte sich auf Kosten ihrer weissen Umgebung verbreitern, sofort einleuchtend.**)

---

*) Dass die kleineren Objecte auf einem eintönigen Grunde den grösseren Eindruck machen, lässt sich auf die Wirkungen des Exceptionellen zurückführen und hat in sofern nichts Auffallendes.

**) Man vergleiche die Auseinandersetzung im vorigen § und die Versuche 23—25 in § 23.

Zweitens begreift man, warum ein schwarzes Object nur irradiirt, wenn es sehr klein ist. Die Wirkung des Objectes wächst nämlich mit zunehmender Kleinheit, und ein schwarzes Object kann dieses Zuwachses nicht entbehren, da ihm die Wirkung des weissen Grundes hinderlich entgegensteht.

Drittens wird die bis jetzt ganz räthselhafte Erfahrung begreiflich, dass die Irradiation ihre Richtung ändert, obschon die Lichtzerstreuung und Lichtintensität sich nicht ändert. Ein hierher gehöriger Fall ist folgender. Ein schwarzes Quadrat auf weissem Grunde erscheint kleiner als ein eben so grosses weisses Quadrat auf schwarzem Grunde, offenbar deshalb, weil das Weisse über die Grenze greift und dem eroberten Gebiete die Lichtempfindung aufdrängt. Wenn man nun mit Hülfe eines weissen Papierblattes einen Theil des schwarzen Quadrates verdeckt und letzteres durch allmähliches Vorschieben jenes Blattes mehr und mehr verschmälert, so sollte das Schwarze, noch ehe es vollständig verdeckt ist, dem Auge verschwinden. Denn auch das aufgelegte Blatt wirkt als Weisses und sollte durch seine Irradiation den anliegenden Grenzstreifen des Schwarzen sich annectiren. Die Erfahrung lehrt aber, dass das Schwarze vor seiner vollständigen Verdeckung nicht verschwindet, und dass schliesslich ein schmaler Streifen desselben sogar breiter erscheint als er ist, also einen Grenzstreifen des weissen Gebietes sich aneignet.

Man beachte, dass zu dieser Verbreiterung des Schwarzen die Erklärung nicht passt, welche ich im Vorhergehenden von der Verbreiterung einer schwarzen Scheibe bei deren Betrachtung durch dunkele Plangläser gegeben habe (vgl. die Erörterungen zu Vers. 12). Die einzig mögliche Erklärung des vorliegenden Falles scheint folgende: Das schwarze Quadrat auf weissem Grunde ist das Object der Betrachtung. Als Object begünstigt es die Irradiation, aber der Grund, als Weisses, begünstigt sie ebenfalls, und sein Einfluss ist mächtiger. Wird aber das Viereck verkleinert, so wächst seine Wirkung als Object und gewinnt schliesslich über die des Weissen das Uebergewicht.

Viertens kann in Folge des eben Erörterten nicht befremden, dass die Erscheinungen der Irradiation bisweilen ganz ausbleiben, obschon sie nach dem Grade der gegebenen Lichtzerstreuung und Lichtintensität erwartet werden müssten.

Fünftens ist einleuchtend, dass unter übrigens gleichen Bedingungen weisse Objecte eine stärkere Verbreiterung erfahren müssen als schwarze (nach Vers. 7 u. 8), da in ersterem Falle die Irradiation nicht nur durch das Object als solches, sondern auch durch die vorwiegende Lichtstärke begünstigt wird.

Sechstens: Die sehr sonderbare Thatsache, dass die Durchmesser der Zerstreuungskreise und die Grössen der Netzhautbilder in umgekehrter Richtung zunehmen, wird durch die von mir aufgestellte Hypothese zwar nicht vollständig erklärt, doch aber dem Verständniss näher gerückt. Der Zerstreuungskreis, welchen ich messe, ist nichts anderes als die merkbare Verbreiterung, und wiederum ist das Netzhautbild nichts anderes als das Object. Wenn nun das Object einen um so grösseren Einfluss auf die Verbreiterung ausübt, je kleiner es ist, so entspricht der Ausfall der Versuche vollkommen unserer Erwartung.

Siebentens endlich, erklärt sich die sonst ganz unverständliche Thatsache, dass der scheinbare Durchmesser des Zerstreuungskreises bis zum Funfzehnfachen schwankt, während der des physikalisch gegebenen unveränderlich derselbe bleibt (Vers. 5). Die scheinbare Grösse resultirt aber aus einem Spiele psychischer Vorgänge, welches in der Zerstreuung des Lichtes zwar seine Gelegenheitsursache, nicht aber seine näheren Bestimmungen findet.

Ich will nicht unterlassen darauf aufmerksam zu machen, dass von dem Standpunkte aus, den wir nun einnehmen, eine Angabe Arago's verständlich wird, welche auf den ersten Blick mit allen meinen Beobachtungen in Widerspruch zu stehen scheint.

Nachdem Arago die Umstände erörtert, welche auch im accommodirten Auge eine Zerstreuung des Lichtes vorauszusetzen gestatten, Umstände, welche er nicht blos in der Asymmetrie der brechenden Flächen und der Chromasie des Auges, sondern auch in Plateau's Irradiation der Empfindung zu suchen scheint, theilt er Beobachtungen mit, welche die Grösse der aus allen diesen Umständen entstehenden Lichtzerstreuung bestimmen sollten*). Der berühmte Physiker referirt über seine Versuche wie folgt:

---

*) Arago's Werke von Hankel B. XV. S. 240 u. f.

»Auf der Südseite des Luxembourg brachte ich einen weissen auf ein schwarzes Bret gezeichneten Kreis an, stellte das Bret senkrecht auf die von seiner Mitte nach dem westlichen Thurme der Sternwarte, wo mein Fernrohr stand, gezogene Linie, und mass dann den Durchmesser dieses Kreises. Auf diese Weise ergab sich:

der verticale Durchmesser	41,67″
der horizontale Durchmesser	41,70″
der unter 45° gegen den Horizont geneigte Durchmesser .	41,66″

Nun wurde der weisse Kreis auf schwarzem Grunde vertauscht mit einem schwarzen Kreise auf weissem Grunde von derselben Grösse. Die Messung mit demselben Fernrohre ergab:

horizontaler Durchmesser = 41,56″
verticaler Durchmesser = 41,69″

Die Differenz zwischen den Messungen der beiden Kreise ist hinreichend klein, um uns zu dem Schlusse zu berechtigen, dass die Fehlerquellen der Irradiation nicht $^1/_{10}$ Secunde erreichen.« —

Arago nimmt also nach seinen Versuchen an, dass die Irradiation des accommodirten Auges eine unmerklich kleine sei, während sie nach den meinigen eine leicht nachweisbare, relativ bedeutende Grösse ist.

Der Grund dieses Widerspruches beruht offenbar darauf, dass Arago, unbekannt mit der Irradiation des Schwarzen, aus seinen Versuchen unzulässige Folgerungen ableitet. Er vergleicht eine weisse und eine schwarze Scheibe von gleicher Grösse bei gleicher Sehweite und nimmmt an, dass wenn Irradiation bestünde, sich dieselbe durch vorwiegende Grösse der weissen Scheibe um so mehr zu erkennen geben müsste, als letztere in diesem Falle eine Vergrösserung, die schwarze Scheibe dagegen eine Verkleinerung erfahren würde. Allein diese Annahme ist unrichtig. Die unter einem Gesichtswinkel von ungefähr 42″ betrachteten Scheiben sind so kleine Objecte, dass auch die schwarze, eben in Folge ihrer Kleinheit, irradiiren muss.*)

Bezeichnen wir den Durchmesser des Scheibenbildes mit B,

*) Das durch die Irradiation verbreiterte Netzhautbild der Scheiben berechnet sich nämlich auf nur 0,0030mm. Vergl. über die Grösse der dann eintretenden Irrradiation des Schwarzen die in § 16 aufgestellte Tabelle.

den des Zerstreuungskreises mit Z, so meint Arago in dem einen Falle $B+Z$, im anderen $B-Z$ zu messen, und beansprucht demnach einen Unterschied $=2Z$ zu finden. In Wahrheit wird aber bei der weissen Scheibe $B+Z$ und bei der schwarzen $B+Z'$ gemessen und kann sich demnach nur ein Unterschied $=Z-Z'$ herausstellen. In so fern nun, *caeteris paribus,* weisse Objecte stärker irradiiren als schwarze (vgl. § 17) sollten die von Arago angestellten Messungen einen kleinen Grössenunterschied zu Gunsten der weissen Scheibe allerdings ergeben, indess lässt sich aus der unvollständigen Beschreibung der ohnehin zu wenigen Versuche nicht ersehen, ob die erforderliche Gleichheit der vielen hier in Frage kommenden Umstände wirklich statt gefunden habe.

§ 26. Ich kann einen Versuch vorlegen, welcher die Triftigkeit der von mir aufgestellten Ansicht noch deutlicher nachweist, als alle bisher mitgetheilten. — Bezeichnen wir die Irradiation, welche das Weisse verbreitert, als positive, die, welche das Schwarze verbreitert als negative, so bringt es die von mir aufgestellte Theorie mit sich, dass die eine in die andere umschlagen könne, womit weiter zusammenhängt, dass ein Uebergangspunkt vorkommen müsse, in welchem die Grösse der Irradiation, d. h. der merklichen Verbreiterung, auch bei vorhandener Lichtzerstreuung, gleich Null ist. Die nachstehende Versuchsreihe bestätigt diese Consequenzen.

Operirt wurde mit verschiebbaren schwarzen Parallellinien auf weissem Grunde (nach der A Methode, § 7 Anmerkung). Die Breite der Linien betrug 1^{mm}. Da der Theorie nach schwarze Linien, welche negativ irradiiren, nur in Folge von Vergrösserung zum Entstehen einer positiven Irradiation von Seiten des weissen Grundes Gelegenheit geben können, so musste in der Versuchsreihe für ein allmähliches Anwachsen der Netzhautbilder gesorgt werden. Dieses Anwachsen wurde mit Hülfe des Makroskops zu Stande gebracht, d. h. die anfänglich sehr beträchtliche Verkleinerung des betrachteten schwarzen Objectes wurde im Verlaufe der Versuchsreihe, durch Reduction der E-Werthe, mehr und mehr verringert. In der nachstehenden Tabelle sind die mit der Linienbreite ausgeglichenen Distanzen notirt, und zwar für jede Beobachtung im Besonderen, so dass sich die Zuverlässigkeit der letzteren beurtheilen lässt.

Versuch 26.

Beobachtung.	*E*-Werthe (in Millim.) 246,6	324,8	407,0	487,2	567,4
1—5	0,828	0,965	0,950	1,100	1,250
6—10	0,931	0,937	0,965	1,094	1,239
11—15	0,952	0,967	1,041	1,154	1,250
16—20	0,910	0,956	1,020	1,124	1,205
21—25	0,893	0,900	0,990	1,205	1,245
26—30	0,922	0,926	1,024	1,080	1,238
31—35	0,922	0,988	1,008	1,120	1,232
36—40	0,846	0,938	0,965	1,072	1,230
41—45	0,869	0,940	1,035	1,089	1,222
46—50	0,824	0,955	1,020	1,075	1,193
Distanz im Mittel:	0,895	0,947	1,002	1,111	1,230

Berechnet man aus den gegebenen Unterlagen die Werthe δ, β, ζ und φ, wo φ den wahrscheinlichen Fehler von ζ bedeutet, so findet sich Folgendes.

Berechnung des Versuches 26.

E	δ	β	ζ	S	φ
246,6mm	0,0216mm	0,0241mm	—0,0012mm	311mm	0,00010
324,8	0,0146	0,0154	—0,0004	325	0,00003
407,0	0,0123	0,0123	0,0000	304	0,00004
487,2	0,0103	0,0097	0,0006	309	0,00004
567,4	0,0099	0,0081	0,0009	311	0,00001

Hieraus ergiebt sich zunächst die ausserordentliche Zuverlässigkeit der Beobachtungen. Der wahrscheinliche Fehler afficirt von sämmtlichen ζ-Werthen nur den ersten, und diesen so wenig, dass unsere Folgerungen dadurch nicht gestört werden.

Es zeigt sich ferner, dass in der dritten Querreihe, wenn $\beta = 0{,}0123^{mm}$, ein Wendepunkt der Irradiation eintritt. Die Grösse der Zerstreuungskreise ist Null. Von diesem Wendepunkte aus wachsen die absoluten Werthe der Zerstreuungskreise nach beiden Seiten, indem sie die Vorzeichen wechseln. Hiermit wird die bisher überall beobachtete Regel, dass die Grössen der Netzhautbilder und der Zerstreuungskreise in umgekehrter Richtung wachsen, aufgehoben. Sie gilt nur auf der einen, nicht auf der andern Seite des Wendepunktes.

Der Werth $\beta=0{,}0123^{mm}$ bezeichnet für mein Auge diejenige Grösse des Netzhautbildes, bei welcher die Wirkung des schwarzen Objectes, als Object, der Wirkung des weissen Grundes, als des Lichthelleren, die Wage hält. Beide wirken auf die Seele, in wiefern diese die Grenze im Irradiationsraume bestimmt, mit gleicher Stärke, und hat dies zur Folge, dass weder ein Uebergreifen des Weissen ins Schwarze, noch des Schwarzen ins Weisse zu Stande kommt.

Ich will schliesslich noch bemerken, dass Hr. Dr. SCHWEIGGER-SEIDEL und mein Assistent Hr. stud. WEBER das Umschlagen der Irradiation bestätigt haben. Beide machten den Zwischenraum zwischen den schwarzen Linien, sobald β eine gewisse Grösse überschritten, regelmässig zu klein, ein Beweis, dass die schwarzen Linien von da ab nicht mehr verbreitert, sondern verschmälert wurden.

§ 27. Dass die Vorstellung des Objectes in die Vorgänge der Irradiation wesentlich eingreift, kann nach den vorgelegten Thatsachen nicht mehr bezweifelt werden, dagegen bin ich selbst weit entfernt zu glauben, dass die von mir aufgestellte Erklärung eine erschöpfende sei. Ihre Mangelhaftigkeit ergiebt sich besonders bei der Frage nach dem Einflusse des Lichtunterschiedes. Ich habe bereits oben auf Widersprüche in den Thatsachen hingewiesen, und will auf diesen Umstand noch einmal in der Kürze zurückkommen.

Unter den gewöhnlichen Umständen wächst die Irradiation mit der Grösse des Lichtunterschiedes, wie dies der oben beschriebene Versuch mit den weissen, grauen und schwarzen Scheiben anschaulich macht, dagegen zeigte sich in den von mir angestellten makroskopischen Versuchen (Vers. 9, 10, 11) das umgekehrte Verhältniss. Dieses unerwartete Resultat findet aber in mehreren andern von mir angestellten Versuchsreihen eine nicht uninteressante Bestätigung. Die § 16 vorgelegte Tabelle beweist nicht nur, dass die Grösse der Irradiation mit der Kleinheit der Netzhautbilder zunimmt, sondern sie beweist auch, dass dieser Grössenzuwachs selbst dann stattfindet, wenn die Durchmesser der Zerstreuungskreise grösser werden als die Durchmesser der geometrischen Netzhautbilder. Natürlich wird der Lichtunterschied, welcher zwischen dem Objecte und dessen Grunde be-

steht, unter diesen Umständen mehr und mehr ausgeglichen und es wächst also auch hier die Irradiation, wenn der Lichtunterschied abnimmt.

Alle Fälle, in welchen Irradiation und Lichtunterschied in umgekehrter Richtung wachsen, stimmen darin überein, dass die Grösse des Netzhautbildes bis zu jenem geringen Werthe herabsinkt, an welchen die Möglichkeit einer negativen Irradiation (also Verbreiterung des Schwarzen) gebunden ist. Dies dürfte in sofern Beachtung verdienen, als nun hier für alle diejenigen Versuche, welche mit schwarzen Objecten auf weissem Grunde ausgeführt wurden, sich eine Erklärung, nach dem eben erörterten Principe, darbietet. Das schwarze Object präponderirt nämlich in diesen Fällen als Object vor dem blos lichtstärkeren Grunde. Indess steht ihm letzterer feindlich gegenüber und beschränkt seine Wirkung um so mehr, je heller er ist. Wird also die Beleuchtung geschwächt, so wirkt das schwarze Object, welches negativ irradiirt, um so kräftiger. Aber freilich ist diese Erklärung auf Versuch 11 nicht anwendbar, in welchem die Irradiation des kleinen Netzhautbildes eine positive ist.

§ 28. Während meiner Ansicht nach der Einfluss des Lichtunterschiedes auf die Irradiation vorzugsweise unklar ist, hat Helmholtz ihn zum Ausgangspunkte seiner Erklärung gemacht. Ich werde die bezügliche Stelle (a. a. O. 322) wörtlich vorlegen.

»Durch die Zerstreuungskreise wird nun bewirkt, dass am Rande des Netzhautbildes einer hellen Fläche Licht sich weiter verbreitet, als das geometrische Bild der Fläche reicht, aber auch die Dunkelheit greift über den Rand des Bildes, d. h. das Licht fängt schon innerhalb des Randes, wo es noch seine volle Stärke haben sollte, an abzunehmen. Es sei in Fig. 3 c ein Punkt des Randes einer hellen Fläche, $b\,g$ eine senkrecht gegen den Rand gezogene gerade Li-

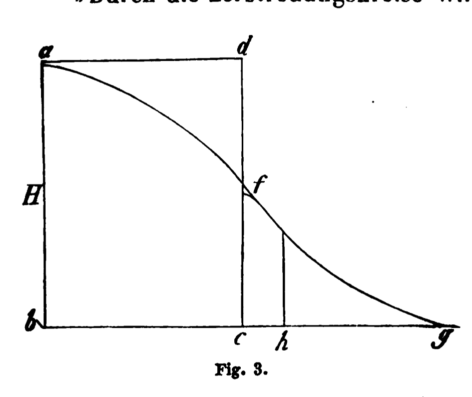


Fig. 3.

nie. Senkrecht gegen dieselbe seien Coordinaten aufgetragen, welche der objectiven Helligkeit in den entsprechenden Punkten von *bg* proportional sind. Wäre das Bild der Fläche vollkommen genau, so würde die gebrochene Linie *adcg* die Grösse der Helligkeit ausdrücken. Von *b* bis zum Rande der Fläche bei *c* würde nämlich die Fläche die constante Helligkeit *H* haben, von *c* ab nach *g* zu die Helligkeit *o*. Wenn durch Mangel der Accommodation Zerstreuungskreise gebildet werden, so nimmt dagegen die Helligkeit ab wie die Curve *afg*. Es greift dabei sowohl das Helle über das Dunkele über in *cg*, als das Dunkele über das Helle in *ad*, und so viel Licht sich über den Rand hinaus verbreitet, muss natürlich innerhalb des Randes der hellen Fläche entzogen werden. So lange wir nur die objective Helligkeit berücksichtigen, würden also die hellen Flächen durch die Zerstreuungskreise nicht vergrössert erscheinen können. Im Gegentheil, die Fläche, welche die volle Helligkeit zeigt, ist durch den Zerstreuungskreis kleiner geworden, wenn auch die Fläche, welche überhaupt Licht empfängt, grösser geworden ist. Berücksichtigen wir nun aber, dass die Lichtempfindung für die höheren Stufen der objectiven Helligkeit gar nicht oder wenig verschieden ist, so folgt daraus, dass die Verminderung des Lichtes innerhalb der Fläche weniger bemerkt werden wird, als die Erleuchtung vorher dunkeler Stellen jenseit ihres Randes, so dass also hier die Empfindung die Ausbreitung des Hellen allein und nicht die des Dunkelen vergrössert anschauen muss. Am auffallendsten wird die Erscheinung sein, wenn die Fläche hell genug ist, dass innerhalb der Zerstreuungskreise die Lichtempfindung schon ihr Maximum erreicht. Wäre das z. B. in Fig. 3 bei *h* der Fall, so würde die scheinbare Helligkeit bei *h* nicht mehr von der vollen Helligkeit im Innern der Fläche zu unterscheiden sein. Die volle Helligkeit der Fläche würde also bis *h* zu reichen scheinen, und auch jenseits *h* erst sehr langsam abnehmen, ehe sie bei *g* ganz verschwindet. Daraus erhellt auch, warum für das Zustandekommen der Irradiation grosse Helligkeit vortheilhaft ist.«

Diese Theorie ist jedenfalls mangelhaft, in sofern sie nur die Irradiation weisser Flächen berücksichtigt, und namentlich die Thatsache: dass kleine schwarze Flächen sich auch bei intensiv-

ster Beleuchtung auf Kosten des umgebenden Weissen vergrössern können, unerklärt lässt.

§ 29. Die Irradiation des accommodirten Auges beschränkt die Deutlichkeit und Schärfe des Sehens in merklicher Weise. Anlangend die Deutlichkeit, so will ich mit diesem Worte die Erkennbarkeit der Grenzen bezeichnen, welche das Object von seinem Grunde, und einen bestimmten Theil des Objectes von den ihn umgebenden Theilen absondern. Durch das Uebergreifen der Zerstreuungskreise in Nachbargebiete verlieren die Grenzen ihre Bestimmtheit, und muss demnach die Undeutlichkeit der Gesichtsempfindungen mit dem Verhältnisse des Durchmessers der Zerstreuungskreise zum Durchmesser der Bilder wachsen. Werden die Durchmesser der Bilder kleiner als die Zerstreuungskreise, so kann sich die Undeutlichkeit bis zur Unerkennbarkeit steigern. Denn die Erkennbarkeit ist von der Grösse des Lichtunterschiedes zwischen dem Objecte und seinem Grunde abhängig, und die Irradiation vermindert unter den in Rede stehenden Umständen den Lichtunterschied.

Anlangend die Schärfe des Sehens, so beziehe ich dieselbe auf die Unterscheidbarkeit der kleinsten Theile eines Objectes. Ihre Abhängigkeit von der Irradiation wird nach dem Vorausgehenden keines besonderen Beweises bedürfen. Dagegen glaube ich ausdrücklich hervorheben zu müssen, dass die Grenze, bis zu welcher die kleinsten Theile eines Gesichtsobjectes unterscheidbar bleiben, nur durch die Grösse der Irradiation, und nicht durch die Feinheit der Netzhautelemente bedingt sei. Dies ergiebt sich aus den von mir angestellten Messungen. Die Zerstreuungskreise wachsen umgekehrt wie die Netzhautbilder, und gewinnen schliesslich Durchmesser, welche die der Netzhautelemente übertreffen. Nach Kölliker und H. Müller beträgt der Durchmesser der Zapfen 0,0045 — 0,0067^{mm}, nach M. Schultze in der *fovea centralis* nur halb so viel, und ich werde Beobachtungen vorlegen, nach welchen anzunehmen, dass die sensibeln Elementartheile der Netzhaut noch viel kleiner sind. Dagegen stieg der Durchmesser der Zerstreuungskreise kleiner Bilder nach meinen Messungen bis zu dem Werthe von 0,0055^{mm}, und liegt der Grenzwerth unstreitig noch höher. Man sieht hieraus, dass auch die kleinsten Netzhautbilder stets mehr, nie weniger als einen sensibeln Elementar-

theil in Anspruch nehmen, eine Thatsache, welche für manche theoretische Betrachtungen von Wichtigkeit ist.

II. Ueber die Beziehungen zwischen der Stärke des Reizes und der Stärke der Empfindung.

§ 30. Fechner hat in seinen Elementen der Psychophysik auch die Frage berücksichtigt, in wie weit die Stärke der Empfindung von der Extension des Reizes abhänge. Es entging ihm nicht, dass Erfahrungen vorliegen, welche auf ein Anwachsen der Empfindung mit der Ausdehnung des Reizes bezogen werden können, aber er weist auch nach, dass alle diese Erfahrungen den Zweifel gestatten, ob die Veränderungen der Empfindung, welche eintraten, wirklich durch Veränderung der Extension, oder vielmehr durch gleichzeitige Veränderungen der Intensität des Reizes bedingt waren. So verschwinden beispielsweise kleine Lichtflächen dem Auge in einer Entfernung, wo grössere von gleicher photometrischer Intensität noch gesehen werden, doch ist nicht hinreichend entschieden, wie weit die für kleine, dem Auge eben verschwindende Lichtflächen mehr in Betracht kommende Irradiation Schuld an dem Unterschiede sei. Nach den sehr genauen Versuchen Steinheil's (Elemente der Helligkeitsmessungen. Abh. der Münchener Akademie 1837) hat die Grösse und Lage der Lichtflächen gegen einander keinen entschiedenen Einfluss auf das Urtheil über gleiche Intensität. Fechner nimmt daher an, dass die Grösse der beleuchteten Netzhautfläche auf die Intensität der Empfindung keinen in Betracht kommenden Einfluss ausübe, und hat demgemäss in die Formel, durch welche er die Abhängigkeit der Empfindung vom Reize ausdrückt, ein Glied, welches sich auf die Extension des letzteren beziehe, nicht aufgenommen. Man darf annehmen, dass Helmholtz auf demselben Standpunkte stehe, denn er hat in einer ausführlichen Kritik der Fechner'schen Formel (Physiol. Optik S. 316) den Mangel eines solchen Gliedes nicht erwähnt. Indess bin ich im Besitze von Erfahrungen, welche den Einfluss der Extension des Reizes auf die Stärke der Empfin-

dung unzweifelhaft nachweisen, und glaube ich den Mathematikern unter den Physiologen einen Dienst zu erweisen, wenn ich meine hierher gehörigen Versuche ausführlich mittheile.

§ 31. Die bekannte Erfahrung, dass eine Linie in weit grösserer Entfernung sichtbar ist als ein Punkt, veranlasste mich zu untersuchen, ob hier schon das Moment der extensiven Einflüsse sich geltend machte. Das Bild der Linie erregt nämlich mehr Elementartheile der Netzhaut als das Bild des Punktes. Andererseits freilich wird ein Empfindungskreis der Netzhaut von einem kleinsten Punktbildchen eben nur in einem (wenn auch nicht mathematischen) Punkte berührt, von einem Linienbilde dagegen in der ganzen Länge des Durchmessers getroffen. Nehmen wir an, die betrachteten Objecte seien weisse auf schwarzem Grunde, so hat der Umstand, dass das Linienbild den Empfindungskreis in seinem ganzen Durchmesser schneidet, zur Folge, dass dem Schwarzen mehr Licht beigemischt ist, als beim Auftreten eines Punktbildes. Mit Rücksicht hierauf ist der von einer Linie ausgehende Eindruck, wie schon Bergmann bemerkt, auch intensiv stärker, und demnach der Einfluss eines extensiven Momentes noch zweifelhaft.

Versuch 27.

Auf eine weisse Tafel wurden nahe neben einander 4 schwarze Figuren gezeichnet, ein Quadrat und 3 Oblonge, sämmtlich zu 16 □mm Inhalt. Die Dimensionen verhielten sich wie folgt:

Object	Länge	Breite
I.	4mm	4mm
II.	8	2
III.	16	1
IV.	32	0,5

Diese Figuren wurden makroskopisch*) betrachtet und konnten im Gesichtsfelde gleichzeitig übersehen werden.

Im Verlaufe des Versuches wurde der Abstand der Tafel von der Linse des Instrumentes allmählich vergrössert, in der Absicht, zu untersuchen, in welcher Reihenfolge die immer kleiner werdenden Bilder dem Auge entschwinden würden.

*) Die Erklärung der Methode findet sich Cap. I. § 6.

Zu meiner Ueberraschung fand ich, dass sämmtliche Bilder fast gleichzeitig verschwanden, jedoch der Streifen von 32mm Länge und 0,5mm Breite ein wenig früher als die drei übrigen. Es sind nämlich die vier Bilder noch wahrnehmbar, wenn $E = 7' 3''$, und es ist keines der Bilder mehr wahrnehmbar, wenn $E = 8' 5''$. Die Sehweite, d. h. die Entfernung des Auges von dem durch die Linse verkleinerten Bildchen betrug 350mm.

Hatte ich die letzte Grenze der Sichtbarkeit erreicht, so erschienen die Objecte als zarte Nebelflecken. Die Bilder nahmen in der Richtung von I gegen IV hin sowohl an Grösse als an Blässe zu, aber die Grössenzunahme entsprach nicht den wirklichen Grössenverhältnissen, sondern erschien merklich geringer.

Die Versuche wurden von zwei zuverlässigen Beobachtern wiederholt und bestätigt. Alle im Vorhergehenden beschriebenen Erscheinungen traten genau in derselben Weise ein, nur war die Entfernung E, unter welcher die vier Bilder höchst approximativ gleichzeitig verschwanden, bei beiden eine viel grössere als bei mir.

Berücksichtigt man nun, dass das Quadrat unter meinen Objecten bei seiner enormen Verkleinerung die Bedeutung eines Punktes, das mit IV bezeichnete Oblong dagegen aus gleichem Grunde die Bedeutung einer Linie hat, so ergiebt sich aus den vorstehenden Versuchen, dass Punkte und Linien von merklicher Grösse und Dicke dem Auge in approximativ gleicher Entfernung verschwinden, wenn der Flächeninhalt beider von gleichem Werthe ist. Genauer genommen verschwindet unter dieser Bedingung die Linie noch ein wenig früher als der Punkt, und beruht also die Erfahrung, dass Linien in grösseren Entfernungen sichtbar sind als Punkte, in der That nur darauf, dass erstere in der Regel eine weit grössere Anzahl von Nervenelementen erregen als letztere.

Zur Ergänzung des Vorstehenden gehört noch Folgendes. Obschon die von mir benutzten Gesichtsobjecte von gleichem Flächeninhalte waren, so konnten doch die Netzhautbilder derselben nicht von gleicher Grösse sein, indem die von der Irradiation ausgehende Verbreiterung den Inhalt quadratischer Bilder nicht um dasselbe vermehrt als den Inhalt oblonger.

Bezeichnen wir in einem quadratischen Bilde die Länge seiner Seiten mit l, und sei in einem Oblong die Grösse der einen Seite

$= 2l$, die der andern $= \frac{l}{2}$, so ist, wenn die von der Irradiation bedingte Verbreiterung mit z bezeichnet wird, der Inhalt

des Quadrats $= l + z.\ l + z = l^2 + 2lz + z^2$

des Oblonges $= 2l + z.\ \frac{l}{2} + z = l^2 + \frac{5}{2}lz + z^2$.

Hieraus ergiebt sich, dass der Inhalt der Netzhautbilder, welche den vier gleich grossen Objecten des vorstehenden Versuches entsprechen, in der Richtung von I nach IV wächst, woraus wieder folgt, dass die Lichtstärke der Bilder in derselben Richtung und in demselben Verhältnisse abnimmt.

In sofern nun annäherungsweise die Bilder der vier Objecte gleichzeitig verschwanden, ist die Abnahme der Lichtintensität durch zunehmende Extension des Bildes compensirt, und eben durch diese Compensation der Grad von Erregung erhalten worden, welche zum Entstehen der schwächsten wahrnehmbaren Empfindung erforderlich ist.*)

Wenn nun FECHNER und HELMHOLTZ Integralformeln aufstellen, mit deren Hülfe die Stärke der Empfindung aus der Intensität des Reizes und nur aus dieser abgeleitet wird, so ist vorauszusehen, dass diese Formeln im Bereiche der Raumsinne nur auf Fälle passen werden, wo die Extension des Reizes sich gleich bleibt.

§ 32. Die im Vorstehenden erörterten Ergebnisse stehen, wie man sieht, mit den feinsten Fragen der Sinnenlehre in engstem Zusammenhange, und wird es daher keiner Entschuldigung bedürfen, wenn ich noch eine zweite Versuchsreihe vorlege, welche, obschon nach einer andern Methode durchgeführt, zu demselben Resultate führte.

Versuch 28.

In der Mitte einer weissen Tafel befindet sich eine kleine schwarze Scheibe von 2,25^{mm} Durchmesser. Zur Seite dieser

*) Freilich ist die Compensation den Versuchen zufolge keine vollständige. Es wird also, wenn dieselbe Lichtmenge zur Erregung einer verschiedenen Anzahl von empfindenden Elementen verwendet wird, die Empfindung durch Schwächung der Lichtstärke etwas mehr verlieren, als durch die Vermehrung der gereizten Elementartheile gewinnen.

Scheibe ist ein ebenfalls weisser Schieber angebracht, auf welchem ich eine 100^{mm} lange und $0,3^{mm}$ breite schwarze Linie gezogen habe. Eine weisse Scheide dient dem Schieber als Läufer, und kann daher die Linie beliebig verlängert oder verkürzt werden, je nachdem man grössere oder kleinere Theile derselben in der Scheide verbirgt.

Mit dieser Tafel experimentirte ich in folgender Weise. Nachdem ich den Schieber so gestellt, dass die Linie in ihrer ganzen Länge sichtbar war, beobachtete ich die Tafel mit dem Makroskop und bestimmte das Maximum der Entfernung, bei welcher die kleine Scheibe (Repräsentant des Punktes) eben noch erkannt werden konnte. Dabei ergab sich im Mittel von 3 Versuchen $E = 48,3$ Zoll. Nachdem dies geschehen, war das Bild der Linie noch sehr deutlich. Nun verkürzte ich, ohne E zu ändern, die Linien mit Hülfe des Schiebers ganz allmählich und zwar bis zu dem Punkte, wo sie ebenfalls zu verschwinden drohte. Dieselbe hatte dann im Mittel von 3 wohl übereinstimmenden Versuchen eine Länge von $13,5^{mm}$.

Nun beträgt der Inhalt der Scheibe $3,97\square^{mm}$, der Inhalt der Linie dagegen $4,05\square^{mm}$. Es verschwindet also ein Punkt und eine Linie von merklicher Grösse in derselben Entfernung vom Auge, wenn der Inhalt beider approximativ derselbe, jedoch der Inhalt der Linie ein wenig grösser ist. Mit Rücksicht auf die Irradiation sind aber die Netzhautbilder der Scheibe und der Linie von sehr verschiedenem Werthe. Das Netzhautbild der Linie wird um vieles grösser und in demselben Maasse blasser sein als das der Scheibe, und wird demnach auch in diesem Falle die zunehmende Verblassung des Bildes durch den zunehmenden Flächeninhalt desselben ausgeglichen.

§ 33. Aus dem Vorhergehenden lässt sich der Erfolg eines Versuches, welchen ich nun vorlegen werde, im voraus bestimmen. Ein Punkt und eine Linie von gleichem Flächeninhalte können, wenn die Lichtintensität derselben eine verschiedene ist, nicht unter gleicher Entfernung dem Auge verschwinden, und umgekehrt, wenn Punkte und Linien von ungleicher Lichtstärke dem Auge in gleicher Entfernung verschwinden, so muss das lichtärmere Object einen grösseren Flächeninhalt haben.

Versuch 29.

Die Experimente wurden mit dem in Vers. 28 beschriebenen Apparate ausgeführt, nur hatten im vorliegenden Falle die Tafel, der Schieber und dessen Scheide eine schwarze Färbung. Auf der Tafel befand sich ein kleines weisses Quadrat von 4,905^{mm} Inhalt, auf dem Schieber dagegen in dem einen Falle ein hellgrauer, in dem andern ein dunkelgrauer schmaler Streifen. Die Tafel wurde makroskopisch beobachtet und fand sich, dass das weisse Quadrat bei $E = 79$ Zoll die Grenze des eben noch Erkennbaren erreichte. Nun wurde bei demselben Werthe von E den grauen Streifen die Länge gegeben, bei welcher sie ebenfalls zu verschwinden drohten.

Der hellgraue Streifen von 2,55^{mm} Breite wurde verschwindend klein und undeutlich bei einer Länge von 4,75^{mm} und hatte also auf der Grenze der Erkennbarkeit einen Flächeninhalt von 12,11 $\square^{mm}$. Der dunkelgraue Streifen von 3,65^{mm} Breite hatte unter denselben Umständen eine Länge von 8,8^{mm} und einen Inhalt von 32,12$\square^{mm}$. Zu bemerken ist noch, dass die äquivalenten Vierecke an der äussersten Grenze der Erkennbarkeit das Ansehen von Nebelflecken darboten, welche nicht blos in Bezug auf Lichtstärke, sondern auch in Bezug auf G e s t a l t und G r ö s s e sich gleich erschienen.

§ 34. Um zu ermitteln, wie weit die Empfindlichkeit des Auges für Lichtunterschiede gehe, hat man Versuche über die Erkennbarkeit der zartesten Schatten angestellt. Da die beobachteten Schatten nicht blos durch ihre Lichtstärke, sondern auch durch ihre Grösse das Auge erregten, die letztere aber in den Versuchen unberücksichtigt geblieben ist, so kann man sich nicht wundern, dass verschiedene Beobachter zu ziemlich verschiedenen Resultaten gelangten.*)

Die hier in Frage kommenden Schattenversuche werden in folgender Weise angestellt. Man beleuchtet eine weisse Tafel mit schwachem Lichte, welches die Helligkeit h erzeugt, und stellt einen Körper auf, welcher auf die Tafel einen Schatten wirft, so dass innerhalb der Grenzen des Schattens die Tafel von jenem

*) Helmholtz, Physiologische Optik S. 311.

ersten Lichte nicht getroffen wird. Dann bringt man ein zweites Licht hinzu von der Helligkeit H, welche dadurch verändert werden kann, dass man dieses zweite Licht der Tafel nähert und entfernt. Dann ist die objective Helligkeit im Schatten H, ausserhalb des Schattens $H + h$. Man bringt nun das zweite Licht der Tafel so nahe als dies möglich ohne den Schatten aus den Augen zu verlieren. Hat man die letzte Grenze der Annäherung erreicht, so ist der absolute Werth des erkannten Lichtunterschiedes $= h$ und der relative $= \frac{h}{H+h}$.

Die Versuche zeigen, dass der relative Unterschied innerhalb weiter Grenzen ein constanter Werth ist, nur haben verschiedene Beobachter, wie schon bemerkt, nicht gleiche Werthe erhalten. Ich werde beweisen, dass dies mit Rücksicht auf die verschiedene Grösse der beobachteten Schatten nicht anders erwartet werden konnte.

Versuch 30.

Die schattenwerfenden Körper sind 2 Kugeln von 1''' und 5''' Durchmesser. Dieselben sind in einer Entfernung von 150^{mm} vor der weissen Tafel an Coconfäden aufgehangen. Zur Beleuchtung dienen zwei Lichter von erprobt gleicher Stärke, und verhalten sich daher die Lichtintensitäten umgekehrt wie die Quadrate der Entfernung derselben von der Tafel. Die Entfernung des starken Lichtes bleibt constant = 1 Meter. Die Entfernung des schwachen Lichtes wird der Aufgabe des Versuches entsprechend in der Weise regulirt, dass der Schatten nur eben noch erkennbar ist. Ich notire im Nachstehenden die Entfernung des schwachen Lichtes von der Tafel unter e in den Versuchen mit der kleinen Kugel, und unter E in den Versuchen mit der grossen Kugel.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Der Verfasser.	1	5,15 Meter	7,33 Meter
	2	5,33	7,18
	3	5,50	7,44
	im Mittel	5,33	7,32

Verhältniss $E/e = 1,373$.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Ingenieur Volkmann	1	5,70 Meter	7,60 Meter
	2	5,70	7,68
	im Mittel	5,70	7,64

Verhältniss $E/e = 1,340$.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Herr stud. Jahn	1	5,80 Meter	7,60 Meter
	2	5,43	7,27
	im Mittel	5,62	7,44

Verhältniss $E/e = 1,323$.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Herr Dr. Schweigger-Seidel	1	6,23 Meter	8,07 Meter
	2	6,14	8,07
	3	6,35	8,15
	im Mittel	6,24	8,10

Verhältniss $E/e = 1,30$.

Versuch 31.

Die Bedingungen des Versuchs bleiben unverändert, nur wird die Entfernung des starken Lichtes von der Tafel auf 0,5 Meter beschränkt.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Der Verfasser	1	3,15 Meter	3,75 Meter
	2	3,40	4,85
	3	3,35	4,20
	im Mittel	3,30	4,27

Verhältniss $E/e = 1,294$.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Ingenieur Volkmann	1	3,85 Meter	4,60 Meter
	2	3,35	4,40
	3	3,35	4,64
	im Mittel	3,52	4,55

Verhältniss $E/e = 1,291$.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Herr stud. Jahn	1	3,35 Meter	4,35 Meter
	2	2,95	4,25
	3	3,38	4,36
	im Mittel	3,23	4,32

Verhältniss $E/e = 1,334$.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Herr Dr. SCHWEIGGER-SEIDEL	1	3,43 Meter	4,80 Meter
	2	3,80	5,20
	3	4,30	5,23
	im Mittel	3,84	5,08

Verhältniss $E/e = 1,323$.

Versuch 32.

An den Bedingungen des Versuches wird wiederum die Entfernung des starken Lichtes von der Tafel geändert. Dieselbe beträgt im Nachstehenden überall 0,25 Meter. Auch werden die beiden Kugeln etwas näher an der Tafel aufgehangen, nämlich in einer Entfernung von 80^{mm}. Die Versuche sind unter diesen Umständen sehr unbequem, weil das starke Licht die Stelle einnimmt, welche der Beobachter für sein Auge wählen möchte.

Beobachter	Beobachtung	e	E
der Verfasser	1	2,00 Meter	2,35 Meter
	2	1,85	2,33
	3	2,21	2,72
	4	1,75	2,65
	im Mittel	1,95	2,51

Verhältniss $E/e = 1,287$.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Herr stud. JAHN	1	2,38 Meter	2,93 Meter
	2	1,92	2,47
	3	2,30	2,80
	4	2,30	2,80
	im Mittel	2,225	2,75

Verhältniss $E/e = 1,236$.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Herr Dr. SCHWEIGGER-SEIDEL	1	2,25 Meter	3,20 Meter
	2	2,90	4,04
	3	2,70	3,52
	4	2,63	3,20
	im Mittel	2,62	3,49

Verhältniss $E/e = 1,332$.

Beobachter	Beobachtung	e	E
Herr O. VOLKMANN	1	1,60 Meter	2,20 Meter
	2	1,83	2,45
	3	1,70	2,25
	4	1,85	2,30
	im Mittel	1,745	2,30

Verhältniss $E/e = 1,318$.

§ 35. Alle mitgetheilten Versuche vereinigen sich zu beweisen, dass die Grösse des Netzhautbildes auf die Stärke der Empfindung einen Einfluss ausübe. Wenn man das schwache Licht in eine Entfernung von der weissen Tafel bringt, welche die Wahrnehmbarkeit des kleinen Schattens aufhebt, so bleibt der grosse Schatten sichtbar, und muss die Entfernung des schwachen Lichtes, damit auch der Schatten des grossen Lichtes verschwinde, um ein Bedeutendes vermehrt werden.

Sehr merkwürdiger Weise war die erforderliche Vermehrung der Entfernung für fünf verschiedene Beobachter und bei dreimaliger Veränderung der Lichtstärken relativ immer dieselbe. Bezeichnen wir die Entfernung des Lichtes, bei welcher der kleine Schatten verschwindet mit e, dagegen die Entfernung, bei welcher der grosse Schatten unsichtbar wird mit E, so ist $E:e$ im Mittel aller Beobachtungen 1,32 und sind die Abweichungen der einzelnen Fälle von dieser Mittelzahl unerheblich.

Verhalten sich nun die Entfernungen $e:E = 1:1{,}32$, so verhalten sich die Lichtintensitäten umgekehrt wie die Quadrate derselben, also wie $1{,}742:1$. Würde der Flächeninhalt des Schattens mit F, die Lichtintensität mit L bezeichnet, so ist die Empfindung des eben noch erkennbaren Schattens eine Function aus $L.\ F.$ Demnach wäre die eben noch wahrnehmbare Empfindung bedingt:

für den kleinen Schatten durch $F.1{,}74\,L$

für den grossen Schatten durch $25\,F.L$,

indem die Flächen der Kugelschatten wie die Quadrate der Kugeldurchmesser wachsen, letztere aber sich wie $1:5$ verhalten.

Hiernach ist $F\,L$ für die schwächste noch wahrnehmbare Empfindung keine Constante, wie nach dem Vorhergehenden erwartet werden konnte. In Versuch 27 fand sich nämlich, dass quadratförmige und oblonge Flächen von gleichem Inhalte bei makroskopischer Verkleinerung approximativ gleichzeitig unsichtbar wurden. Da nun Oblonge durch Irradiation in höherem Maasse vergrössert werden, als Quadrate und da die durch die Irradiation bedingte Vergrösserung des Bildes und die Abschwächung des Lichtes sich proportional sind, so war anzunehmen, dass ein umgekehrtes Anwachsen von F und L die Empfindung nicht merklich ändere, oder mit anderen Worten, dass die kleinste

wahrnehmbare Empfindung von einem annäherungsweise constanten Producte $F L$ abhänge. Im gegenwärtigen Versuche findet sich aber, dass mit der Vergrösserung von F das Product $F L$ sehr rasch wächst, und dürfte dieses Anwachsen in Versuch 27 nur darum unmerklich sein, weil dort F eine nur sehr wenig veränderliche Grösse ist.

§ 36. Ich habe Schattenversuche nach dem Muster der eben besprochenen angestellt, in welchen der Grössenunterschied der schattengebenden Kugeln noch grösser genommen wurde. Die Durchmesser der Kugeln verhielten sich wie 1''' : 10''', also die Werthe F wie 1 : 100. Obgleich nun der Inhalt des grossen Schattens noch um das vierfache vergrössert worden war, so änderte sich doch die Lichtstärke, bei welcher derselbe verschwand, nur überaus wenig. Der Werth 1,7424 L ging über in 2,0621 L, und 25 F ind 78,5 F. Die Wirksamkeit des extensiven Factors F scheint also mit der Extension selbst rasch abzunehmen, wie auch erwartet werden durfte. Die Objecte, welche wir betrachten, nehmen sehr bald Grössen an, wo wir sie nicht mehr im Ganzen übersehen und uns vorwiegend unter dem Eindrucke nur des Theiles befinden, den wir fixiren.

Indem aber bei Betrachtung kleiner Körper der extensive Factor sich hinreichend geltend macht, ist vollkommen begreiflich, dass mit zunehmender Kleinheit der Netzhautbilder die Empfindlichkeit des Auges für Lichtunterschiede abnimmt. Die Stärke der Raumempfindung ist, wie wir sehen, von zwei Factoren abhängig. Wird der extensive Factor zu klein, so muss der Verlust durch das Wachsthum des intensiven Factors, also in den Schattenversuchen durch Vergrösserung des relativen Lichtunterschiedes $\frac{h}{H}$ wieder ausgeglichen werden.

Anlangend das Thatsächliche, auf welches hier Bezug genommen wird, so ist es in den § 33 mitgetheilten Versuchen enthalten. Berechnet man für diese Versuche die kleinsten erkennbaren Lichtunterschiede, so erhält man überhaupt sehr grosse Brüche, und zwar für die Fälle, in welchen mit der kleineren Kugel experimentirt wurde, ohne Ausnahme die merklich grösseren.

Werthe der kleinsten erkennbaren Lichtunterschiede.

I. Nach Vers. 30. Entfernung des starken Lichtes von der Tafel = 1 Meter.

Beobachter	kleiner Schatten	grosser Schatten
Verfasser	$^1/_{28,4}$	$^1/_{52,6}$
Ingenieur Volkmann	$^1/_{32,5}$	$^1/_{58,4}$
Herr stud. Jahn	$^1/_{31,5}$	$^1/_{55,4}$
Herr Dr. Schweigger-Seidel	$^1/_{28,9}$	$^1/_{65,6}$

II. Nach Vers. 31. Entfernung des starken Lichtes von der Tafel = 0,5 Meter.

Beobachter	kleiner Schatten	grosser Schatten
Verfasser	$^1/_{43,6}$	$^1/_{72,9}$
Ingenieur Volkmann	$^1/_{49,5}$	$^1/_{82,8}$
Herr stud. Jahn	$^1/_{41,7}$	$^1/_{74,6}$
Herr Dr. Schweigger-Seidel	$^1/_{59}$	$^1/_{102}$

III. Nach Vers. 32. Entfernung des starken Lichtes von der Tafel = 0,25 Meter.

Beobachter	kleiner Schatten	grosser Schatten
Verfasser	$^1/_{60,8}$	$^1/_{100}$
Herr stud. Jahn	$^1/_{79,2}$	$^1/_{121}$
Herr Dr. Schweigger-Seidel	$^1/_{119}$	$^1/_{195}$

Aus dieser Zusammenstellung ergiebt sich, dass der kleinste erkennbare Unterschied kein constanter Werth ist. Derselbe ist erstens von der Grösse der betrachteten Schatten abhängig, so dass mit zunehmender Grösse der letzteren der Unterschied auffallend kleiner, also die Schärfe im Unterscheiden grösser wird. Aber zweitens ist der kleinste erkennbare Unterschied, wie dies schon Helmholtz bemerkt, auch von der Lichtstärke abhängig, und zwar in den vorliegenden Versuchen in der Weise, dass mit der Lichtstärke die Feinheit des Unterscheidens merklich zunimmt.

Es ist sonderbar, dass dieser Einfluss der Lichtstärke, welcher sich hier constant äussert, in meinen früheren Versuchen mit Schatten (siehe Fechner Psychophys. I. 149) nicht bemerkbar war. Ich weiss einen andern Unterschied zwischen den früheren und neueren Versuchen nicht anzugeben, als dass letztere mit ausserordentlich kleinen Schatten angestellt wurden.

§ 37. Massow hat die Frage nach den kleinsten erkennba-

ren Lichtunterschieden mit Hülfe rotirender Scheiben behandelt. Wenn man auf einer weissen oder schwarzen Scheibe einen Fleck von der entgegengesetzten Farbe anbringt, und dieselbe in eine schnelle Rotationsbewegung versetzt, so sieht man statt des Flecks einen grauen Kreis. Es mischt sich nämlich die Farbe des Flecks mit der Farbe des Grundes, und unterscheidet sich natürlich die Färbung des Kreises von der des Grundes um so mehr, je grösser die Zahl der Grade ist, welche der andersfarbige Fleck oder Sector im Scheibenumfange einnimmt. Nur wird die Unterscheidbarkeit des Kreises nicht blos durch diese Zahl der Grade bedingt, das will sagen, durch diejenige Dimension des Sectors, welche in der Richtung eines um den Scheibenmittelpunkt gezogenen Kreises liegt und welche ich Breite nennen will, sondern auch durch die entgegengesetzte, in der Richtung des Diameters gelegene Dimension, welche von mir als Länge bezeichnet wird. Die bisherigen Beobachtungen haben hierauf nicht Rücksicht genommen, und sind daher die sehr verschiedenen Angaben über den Werth des kleinsten erkennbaren Lichtunterschiedes nicht mit Massow für Zahlen zu nehmen, welche die individuellen Verschiedenheiten der Empfindlichkeit für Lichtreize darstellen.

Ein zweiter sehr einflussreicher Umstand, welcher bisher unberücksichtigt geblieben, ist der, dass es nicht gleichgültig ist, ob man schwarze Sectoren auf weissem Grunde beobachtet, wie Massow und seine Nachfolger, oder weisse Sectoren auf schwarzem Grunde, worüber die Angaben, so viel ich weiss, noch fehlen. Im letzteren Falle ist die Empfindlichkeit des Auges für Lichtunterschiede überaus viel feiner.

Ich werde die Resultate meiner Beobachtungen der Kürze wegen tabellarisch zusammenstellen.

Versuch 33,
mit schwarzen Sectoren auf weisser Drehscheibe.

Sichtbarkeit des Kreises	Breite des Sectors	Länge des Sectors	Lichtunterschied
fehlt	3 Grad	32mm	$1/120$
fehlt	4	4	$1/90$
spurweise	6	1	$1/60$
spurweise	10	0,5	$1/36$
deutlich	4	32	$1/90$
sehr deutlich	6	32	$1/60$

Versuch 34,
mit weissen Sectoren auf schwarzer Drehscheibe.

Sichtbarkeit des Kreises	Breite des Sectors	Länge des Sectors	Lichtunterschied
spurweise	1 Grad	1 mm	1/360
spurweise	0,5	16	1/720
deutlich	1	32	1/360
sehr deutlich	2	32	1/180

Um noch genauer zu ermitteln, welchen Einfluss die Grund-farbe auf die Erkennbarkeit der Lichtunterschiede habe, verfuhr ich in folgender Weise.

Eine schwarze Scheibe von 13 Zoll Durchmesser wurde mit einem weissen Rande von 2 Zoll Breite eingefasst. Auf dem schwarzen Theile der Scheibe brachte ich einen weissen Sector an, auf dem weissen Rande dagegen einen schwarzen. Beide Sectoren hatten dieselbe Länge, im Betrage von 5 Millimetern, dagegen hatte der weisse Sector eine Breite von 1 Grad, der schwarze von 3 Grad. Wenn die Scheibe rotirte, war nur der weisse Sector wahrnehmbar. Ich vergrösserte nun den schwarzen im Verlaufe der Versuche ganz allmählich, bis derselbe ebenso deutlich wahrgenommen wurde als der weisse, und fand, dass er nun eine Breite von 7 Grad einnahm. Bei gleicher Länge war also ein schwarzer Sector von 7° Breite das Aequivalent für einen weissen Sector von 1° Breite, und galt dieses Verhältniss nicht blos für mein Auge. Noch drei Personen, welche die Scheibe betrachteten, urtheilten wie ich, dass die Deutlichkeit der Erscheinung in beiden Fällen gleich, oder sogar auf Seiten des weissen Sectors etwas grösser sei.

Anlangend den Grund des beträchtlichen Unterschiedes, so scheint er mir in Folgendem zu liegen. Betrachtet man einen weissen Sector auf schwarzem Grunde, so befindet sich die Netzhaut im Zustande der Ruhe, die Stelle ausgenommen, welche von der lichteren Zone gereizt wird. Nun ruht auch die Seele beim Wahrnehmen des Schwarzen, während sie im Anschauen des Lichteren thätig ist, und es wird in der Zone des weissen Sectors nur einer sehr geringen Lichtmenge bedürfen, um der Seele den Uebergang aus Ruhe in Thätigkeit bemerklich zu machen.

Betrachtet man umgekehrt einen schwarzen Sector auf weissem Grunde, so ist die Netzhaut überall thätig, und nur in der von dem schwarzen Sector abhängigen Zone in geringerem Maasse als anderwärts. Es handelt sich also erstens nicht um Unterscheiden von Ruhe und Thätigkeit, sondern von grösserer und geringerer Thätigkeit, und zweitens ist die Seele durch den extensiven Eindruck des Weissen so in Anspruch genommen, dass sie für die Wahrnehmung geringer Thätigkeitsunterschiede nicht empfänglich ist.

Diese Erklärung passt vollkommen zu der von Helmholtz gemachten Bemerkung, dass der kleinste erkennbare Lichtunterschied nicht blos von dem gegenseitigen Verhältniss der in Vergleich gestellten Lichtstärken, sondern auch von den absoluten Werthen der letzteren abhänge, und zwar in der Weise, dass, wenn letztere steigen, die Empfindlichkeit des Auges für Lichtunterschiede abnimmt.

III. Untersuchungen zu der Lehre von den Empfindungskreisen und der isolirten Nervenleitung.

§ 38. Die Raumsinne haben das Eigenthümliche, dass die Erregung eines sensibeln Punktes *a* unbedingt eine andre Empfindung hervorruft als die Erregung des sensibeln Punktes *b*, nämlich eine räumlich andere. Dies geschieht auch dann, wenn die Reize, welche die beiden Punkte treffen, von gleicher Beschaffenheit sind. Betrachten wir ein Kartenblatt, beispielsweise Carreau-Fünf, so unterscheiden wir die 5 Vierecke, obschon sie nach Form, Grösse und Farbe vollkommen übereinstimmen, während wir an 5 gleichen Tönen, welche unser Ohr gleichzeitig treffen, nichts zu unterscheiden vermögen.

Man darf annehmen, dass diese Eigenthümlichkeit der Raumsinne die Grundbedingung aller räumlichen Anschauungen abgebe. Nur weil die Seele von jedem Punkte der sensibeln Fläche anders afficirt wird, selbst wenn der Reiz qualitativ derselbe sein sollte, liegt ein Grund vor, die von verschiedenen Punkten aus-

gehenden Affectionen in der Form des Neben- und Aussereinander aufzufassen.

Betrachten wir eine weisse Scheibe, welche durch zwei sich kreuzende Linien in vier Quadranten getheilt ist, so unterscheiden wir nicht nur diese unter einander, sondern das Netzhautbild der ganzen Scheibe erscheint uns auch grösser als das der halben, und die Hälfte derselben erscheint uns grösser als ein Viertel. Es verringert sich also mit der Grösse der gereizten Netzhautstelle auch die scheinbare Grösse der von ihr abhängigen Empfindung. In ganz analoger Weise können sich die Erscheinungen gestalten, wenn wir die Scheibe statt in 4, in 8, 16 und mehr Theile zerfällen; nur lässt sich die Zerfällung nicht mit dem gleichen Erfolge bis ins Unendliche fortsetzen.

Es ist schwer sich der Vorstellung zu entschlagen, dass für alle diese Eigenthümlichkeiten der Raumsinne in dem Baue derselben ein mechanischer Grund vorliege. Allem Anscheine nach sind die Tast- und Sehnerven so organisirt, dass jede ihrer Fasern eine von der Beschaffenheit des Reizes unabhängige specifische Empfindung hervorrufe und dadurch zu dem Ausbau unsrer räumlichen Anschauungen ein bestimmtes Element liefere. Wäre dies der Fall, so würde jede Abtheilung der sensibeln Fläche, welche von einer besondern Nervenfaser versorgt wird, eine besondre Raumempfindung bedingen, und könnte eine Raumanschauung von beliebiger Grösse nie mehr unterscheidbare Theile enthalten, als sich in der vom Reize getroffenen Stelle anatomische Elementartheile vorfinden. Wiederum würde mit dem Anwachsen der gereizten Flächen auch die Zahl der gereizten Fasern zunehmen, und würde daher die Thatsache, dass mit der Extension des Reizes auch die scheinbare Grösse der Anschauung wachse, der Erwartung entsprechen. Selbst die Thatsache, dass die Grössenanschauung nicht immer der Grösse der gereizten Fläche proportional ist, würde keine Schwierigkeit machen, da einerseits sensible Flächen von gleicher Grösse eine ungleiche Anzahl von Nervenfasern enthalten können, andrerseits denkbar ist, dass die Function einzelner Fasern unter gewissen Umständen dem Bewusstsein entzogen bleibe.

Die Ansicht, dass die specifischen Vorgänge der Raumsinne von einem mosaikartigen Baue ihrer peripherischen Flächen ab-

hänge, ist bekanntlich von E. H. Weber zuerst aufgestellt und durch zahlreiche Versuche am Tastsinne unterstützt worden. Weber bezeichnet mit dem Worte Empfindungskreis diejenigen kleinen Abtheilungen der Haut und Netzhaut, welche durch mehr nicht als eine Nervenfaser mit dem Sensorium zusammenhängen. Der Umstand aber, dass jeder Empfindungskreis nur durch eine leitende Faser mit dem Gehirne in Verbindung steht, wird als Grund betrachtet, dass Reize, welche verschiedene Punkte eines und desselben Kreises treffen, nicht unterschieden werden können, nämlich darum nicht, weil sie beim Durchtritt durch den einfachen Leiter und spätestens in dem Hirnpunkte, auf welchen sie schliesslich übertragen werden, verschmelzen müssen. Andrerseits können Reize, welche verschiedene Empfindungskreise treffen, deshalb separate Empfindungen erzeugen, weil jeder durch einen isolirten Leiter mit dem Gehirne verbunden ist.

Die erste wichtige Thatsache, auf welche Weber aufmerksam macht, ist die, dass Druck- und Wärmeeinflüsse von jeder Hautstelle mit ungefähr gleicher Schärfe wahrgenommen werden, während die Distanz zweier gleichzeitig gereizter Punkte in gewissen Hautpartien ungleich mehr ins Feine erkannt wird als in andern.*) Dies beweist jeden Falls, dass zu denjenigen Einrichtungen, welche die Druck- und Wärmeempfindungen vermitteln, noch andere hinzukommen müssen, von welchen die Unterscheidung der Distanzen ausgehe.

Man weiss, dass die Haut auf die Berührung mit einer Nadelspitze überall reagirt. Es fehlt also nirgends an sensibeln Elementen, und es ist durch die blosse Gegenwart dieser, gleichviel ob sie von verschiedenen oder nur von einer und derselben Nervenfaser abstammen, für das Zustandekommen intensiver Empfindungen ausreichend gesorgt. Für die Begründung des Distanzgefühles scheint es dagegen nicht gleichgültig, ob die Sensibilität der gereizten Punkte von verschiedenen oder nur von einer Ner-

*) Obige Thatsache ist neuerlichst von Goltz in Abrede gestellt worden. Goltz betrachtet das Gefühl des Pulses als Druckgefühl und beweist dass die Feinheit desselben an verschiedenen Hautstellen nicht minder variire, als die von Weber nachgewiesene Feinheit des Distanzgefühles. Ob aber eine solche Betrachtung triftig und für die Lehre von den Empfindungskreisen erheblich sei, wird weiterer Untersuchungen bedürfen.

venfaser abhängt. Würden nämlich die beiden Reize auf irgend welche, wenn auch beträchtlich distante Endzweige einer einfachen Faser treffen, so würden beide auf einen und denselben Hirnpunkt übertragen werden und demgemäss einen einfachen Eindruck hervorbringen. Zur Wahrnehmung der Distanz zweier Punkte ist aber nach Weber nicht nur nothwendig, dass zwei verschiedene Empfindungskreise gereizt werden, sondern überdies noch erforderlich, dass zwischen den gereizten Punkten noch einer oder mehrere Empfindungskreise inmitten liegen. Diese Annahme ist nach den Consequenzen der Theorie unabweislich. Offenbar kann die Distanz zweier schwarzen Linien auf weissem Grunde nur wahrgenommen werden, wenn sich die Linien von dem Zwischenraume unterscheiden, und wiederum kann der Unterschied nur dadurch merkbar werden, dass das Bild des Zwischenraumes auf andre Empfindungskreise fällt als die Bilder der Linien.

Nun lehrt die Erfahrung nicht blos, dass die kleinsten erkennbaren Distanzen in verschiedenen Stellen der Haut und der Retina sehr verschiedene Werthe haben, sondern sie lehrt auch, dass im Tastorgane wenigstens diese Werthe mit der Nervenarmuth der bezüglichen Stellen wachsen. Man sieht leicht, dass dieses Verhältniss bei einer mosaikartigen Anordnung der sensibeln Flächen ein nothwendiges ist. Da nämlich jeder Punkt der Haut, so weit unsre Erfahrungen reichen, mit Empfindung begabt ist, so müssen die Empfindungskreise sich in demselben Maasse vergrössern, als die Nervenfasern, deren verbreiterte Enden sie darstellen, weiter aus einander rücken oder seltner werden. Je grösser aber die Empfindungskreise sind, um so leichter werden zwei gereizte Punkte von gegebener Distanz entweder in den Verbreitungsbezirk nur einer Faser, oder, falls in zwei verschiedene, in solche fallen, welche als unmittelbare Nachbarn die Wahrnehmung des Zwischenraumes unmöglich machen. Die vollkommen gesicherte Thatsache, dass die kleinsten erkennbaren Distanzen in den nervenarmen Partien des Hautorgans viel grösser ausfallen, als in den nervenreichen, ist für die Begründung der Weber'schen Lehre von grösster Wichtigkeit.

§ 39. Eine nothwendige Folge der in Frage stehenden Theorie ist die, dass unsre Grössenanschauungen mit der Zahl der in

Thätigkeit gesetzten Empfindungskreise wachsen. Denn wenn die Thätigkeit eines solchen Kreises ein Element zum Aufbauen unsrer Grössenanschauungen liefert, so kann kein Zweifel sein, dass diese Anschauungen um so grösser ausfallen müssen, je mehr Raumelemente zu ihrer Herstellung verwendet werden. Auch hat WEBER auf diese Consequenz seiner Theorie ausdrücklich aufmerksam gemacht*) und Beobachtungen vorgelegt, welche den Ansprüchen derselben Genüge leisten. Wenn man die Spitzen eines ziemlich weit geöffneten Zirkels auf dem Oberarme in der Richtung seines Querdurchmessers aufsetzt, und mit denselben über die Haut bis zu den Fingerspitzen herabstreicht, so entsteht eine Empfindung, als ob sich der gegenseitige Abstand der beiden Spitzen unablässig vergrösserte. Da bei diesem Versuche der Zirkel aus den nervenarmen Hautregionen allmählich in die nervenreichen übergeführt wird, so müssen die beiden Spitzen desselben nach und nach eine immer grössere Anzahl von Empfindungskreisen überspannen, und entspricht demnach das allmähliche Anwachsen der scheinbaren Distanz den theoretischen Voraussetzungen.

Wenn der Theorie nach das Maass unserer Grössenanschauungen von der Zahl der Raumelemente abhängt, aus welchen wir sie aufbauen, und jede den Raumsinnen dienende Nervenfaser uns ein solches Element liefert, so muss die Grössenanschauung, welche durch Erregung einer Hautstelle von bestimmter Grösse hervorgerufen wird, eine Verkleinerung erfahren, wenn ein Theil der Nervenfasern, welche in dieser Stelle sich ausbreiten, ihr Leitungsvermögen verlieren. Die Erfahrung scheint auch diese Folgerung zu bestätigen.

Ich habe vor etwa fünf Jahren eine Quetschung am Nagelgliede des rechten Zeigefingers erlitten, und ist die Sensibilität der Fingerspitze, welche eine Zeit lang verloren schien, auch nach Heilung der Wunde nicht in der ursprünglichen Schärfe zurückgekehrt. Diese Abstumpfung der Empfindlichkeit beruht unstreitig darauf, dass ein Theil der zerrissenen Nervenfasern nicht regenerirt worden, und ist demnach eine Hautfläche gegeben, in welcher sich untersuchen lässt, wie die Grössenanschauungen

*) R. WAGNER's Handwörterb. d. Physiol. III. B. 528.

ausfallen, wenn ein Theil der Nervenfasern, welche die Erregungszustände der bezüglichen Fläche zum Centrum leiten, zerstört ist. Die weitere Frage wäre: wie würden die Grössenanschauungen ausfallen, wenn wir die Leitung der zerstörten Fasern wieder herstellen könnten? Die Antwort hierauf erhielt ich durch Versuche an der Spitze meines unverletzten linken Zeigefingers. Ich habe mich nämlich überzeugt und werde den speciellen Beweis anderwärts vorlegen, dass die analogen Finger der linken und rechten Hand bei mir gleich empfindlich sind und Gegenstände von gleicher Grösse auch als gleich gross zur Anschauung bringen.

Die Versuche stelle ich in folgender Weise an. Gegeben sind erstens zwei feststehende Spitzen, deren constante Distanz 3 Millimeter beträgt, und zweitens zwei mobile Spitzen, deren Distanz durch eine Schraube beliebig verändert und durch eine geeignete Anordnung bis auf $^1/_{20}$ Millimeter gemessen werden kann.

Die Aufgabe der Versuche ist, mit Hülfe blosser Tastempfindungen beide Distanzen auszugleichen. Benutze ich zu den Versuchen die Spitzen analoger und gesunder Finger, so gelingt diese Ausgleichung im Mittel von 10 Versuchen höchst annäherungsweise. Gelingt an den Spitzen meiner Zeigefinger dasselbe nicht, so scheint dies nur daran liegen zu können, dass durch die Zerreissung gewisser Nervenfäden des rechten *Index* eine Anzahl von Empfindungskreisen ausser Spiel gesetzt und demgemäss die Grössenanschauungen verändert worden. Selbstverständlich würde eine Veranlassung zu diesem Schlusse nur vorliegen, wenn der beschädigte Finger die ihm unterliegende Distanz zu klein empfände; und so ist es wirklich.

Versuch 35.

Die Distanz der unbeweglichen Spitzen (Normaldistanz) wurde mit dem linken Zeigefinger betastet, die Distanz der beweglichen Spitzen dagegen mit dem verletzten rechten Zeigefinger. Mit Rücksicht auf die aus der einen und andern Betastung entstehenden Empfindungsdifferenzen wurde die mobile Distanz so lange corrigirt, bis sie der gegebenen constanten gleich schien. Die Werthe der Fehldistanzen (so nenne ich mit Fechner die der Normaldistanz nachgebildeten) waren folgende:

3,65 3,25 3,2 3,4 3,3 3,4 3,1 3,6 3,35 2,85^{mm},
im Mittel der 10 Versuche 3,25^{mm}. Nach Angabe des beschädigten Fingers war also eine Distanz geschaffen worden, welche um $^1/_{13}$ zu gross war, was nur daran liegen kann, dass er die von ihm betastete Distanz um $^1/_{13}$ unterschätzte.

Versuch 36.

Der Versuch wurde in jeder Beziehung wie der vorige ausgeführt, nur dass der beschädigte rechte Finger diesmal die Normaldistanz, und der gesunde linke Finger die Fehldistanz prüfte. Nun ergeben sich für die Fehldistanzen folgende Werthe:

2,8 3,0 2,6 2,7 2,8 2,7 2,65 2,9 3,2 2,95^{mm},
im Mittel von 10 Versuchen 2,83^{mm}. Der gesunde Finger hatte eine Fehldistanz veranlasst, welche um $^1/_{15}$ zu klein war. Selbstverständlich kann dieser Fehler nicht ihm zugeschrieben werden, vielmehr ist einleuchtend, dass der verletzte rechte Finger die Normaldistanz von 3^{mm} zu klein empfunden, und dass deshalb der gesunde Finger eine kleinere Distanz für deren Aequivalent anerkannte.

§ 40. Panum*) meint: die Annahme, dass die scheinbare Grösse der Gesichtsobjecte von der Zahl der gereizten Empfindungskreise abhänge, werde schon durch die Erfahrung widerlegt, dass die seitlichen Netzhautpartien die Objecte nicht kleiner sehen als die centralen, obschon letztere auf einem gleichen Flächenraume eine viel grössere Zahl empfindender Punkte haben als erstere. Aber die Erfahrung, auf welche sich Panum beruft, ist keine stichhaltige. Die Beobachtungen von Hueck und mir, dass die Werthe der kleinsten erkennbaren Distanzen abwärts vom gelben Flecke continuirlich und in rascher Progression abnehmen, beweisen unmittelbar, dass Objecte auf den seitlichen Theilen der Netzhaut kleiner erscheinen als in deren Centrum. In der That, wenn dieselbe Distanz, welche im Centrum der Netzhaut die Unterscheidung zahlreicher in ihr enthaltener kleinerer Theile gestattet, in den Seitentheilen des Sehfeldes eben nur erkennbar und folglich

---

*) Die scheinbare Grösse der Gesichtsobjecte v. Gräfe Arch. f. Ophth. B. V. S. I.

nicht ins Feinere theilbar ist, so kann darüber, dass die Distanz unter der ersten Bedingung grösser erscheine als unter der letztern, kein Zweifel sein, da ein noch Theilbares ohne Frage grösser erscheint als ein nicht mehr Theilbares.

Thatsächlich ist nur, dass unter dem Einflusse gewisser Bedingungen die Proportionalität zwischen der Zahl der gereizten Empfindungskreise und der scheinbaren Grösse der Gesichtsobjecte vermisst werde, eine Erfahrung, welche mit der WEBER'schen Lehre sehr wohl vereinbar ist, und darin ihre Erklärung findet, dass unsre Empfindungen nicht blos durch den sinnlichen Eindruck unmittelbar, sondern auch durch mancherlei psychische Thätigkeiten mittelbar bestimmt sind.

Je nach dem Stande des Mondes und der Reinheit der Luft variirt die scheinbare Grösse unsers Trabanten um mehr als das Doppelte, obschon das Netzhautbild desselben von gleicher Grösse bleibt; und wiederum erscheint der Finger unserer Hand unter einfacher und unter doppelter Sehweite gleich gross, ungeachtet das Netzhautbild in dem einen Falle doppelt so gross ist als in dem andern. Aus derartigen Fällen wird niemand folgern mögen, dass die Grösse des Netzhautbildes auf die scheinbare Grösse überhaupt keinen Einfluss habe. —

Man muss die Empfindungen, welche einfach und unmittelbar aus dem sinnlichen Eindrucke hervorgehn, von denen unterscheiden, welche in viel zusammengesetzterer Weise unter Mitwirkung anderweitiger Seelenthätigkeiten zu Stande kommen, und anerkennen, dass letztere, selbst wo sie den objectiven Verhältnissen widersprechen, die ersteren zu verdrängen im Stande sein können. Was nun den Satz anlangt, dass die scheinbare Grösse von der Zahl der gereizten Nervenelemente abhänge, so bezieht sich derselbe nur auf die reine Empfindung, und kann also durch Fälle, in welchen die Empfindung durch Beimischung fremder Elemente alterirt ist, nicht widerlegt werden.

§ 41. Hiermit erledigen sich zum Theil schon die Schwierigkeiten, welche darin gefunden werden könnten, dass der blinde Fleck im Auge auf die Verkleinerung des Sehfeldes keinen Einfluss ausübt.

Wenn man die beistehende Figur mit einem Auge so betrachtet, dass die markirte Stelle *ab* auf den blinden Fleck fällt, so

wird dieselbe nicht empfunden, ein Beweis, dass der blinde Fleck der zum Sehen erforderlichen Nervenenden ermangelt.

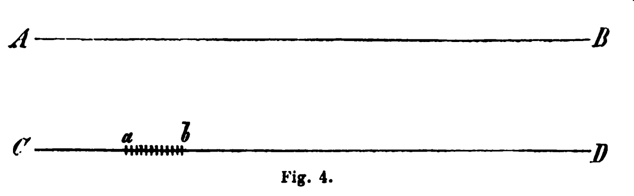


Fig. 4.

Nun sollte die Linie *CD*, in wiefern sie auf eine geringere Anzahl von Empfindungskreisen fällt, kleiner erscheinen als *AB*, was gleichwohl nicht der Fall ist.

Dieser Widerspruch zwischen der Empfindung und ihren sinnlichen Bedingungen liegt offenbar darin, dass es sich im vorliegenden Falle nicht um eine einfache, sondern um eine gemischte Empfindung handelt. Wie wir den Mond am Horizonte zu gross sehn, so sehn wir die Linie *CD* auch zu gross, d. h. wir sehn in beiden Fällen das Gesichtsobject grösser, als es nach Maassgabe der gereizten Netzhautfläche erscheinen sollte. In beiden Fällen ist die Empfindung durch Beimischung fremder Einwirkungen alterirt, nur ist die Veränderung dem objectiven Thatbestande gegenüber beim Mondbilde eine Verschlechterung, bei unserm Linienbilde dagegen eine Verbesserung des primitiv sinnlichen Eindrucks.

Schon Weber hat bemerkt, dass die Muskelgefühle als Mittel dienen, uns über die Irrungen hinwegzuführen, welche in Folge des blinden Fleckes unsern Grössenschätzungen anhaften und sich in einer Unterschätzung der objectiven Grössen kund geben sollten. Dieser Angabe kann ich nur beitreten. Denn obschon die Muskelgefühle von vorn herein jedes räumlichen Inhaltes gänzlich entbehren und also über räumliche Grössen ursprünglich gar nichts aussagen, so associiren sie sich doch mit den Raumanschauungen, die sie begleiten, dermaassen, dass mit dem Gefühle der Bewegung auch die Vorstellung des durchmessenen Raumes nothwendig ins Bewusstsein tritt. Diese Verkettung der Muskelgefühle mit Grössenvorstellung ist eine so innige, dass letztere nicht nur ohne Mitwirkung der sie ursprünglich erzeugenden Empfindungsvorgänge entstehn, sondern sogar im Widerstreite mit diesen sich ausbilden können. Das heisst also, während der

rein sinnliche Vorgang das Entstehen einer Grössenanschauung $= g$ bedingt, producirt das Muskelgefühl eine Anschauung $= \gamma$. Dieser Fall wird eintreten können und eintreten müssen, wenn das Muskelgefühl stets in Begleitung der Grössenanschauung γ zu Stande gekommen, so dass zwischen beiden eine nicht mehr lösbare Verbindung entstanden, und wenn das durch den präsenten sinnlichen Vorgang geforderte g, eben weil es nicht $= \gamma$, eine exceptionelle und darum der Seele widerstrebende Anschauung ist.

Kehren wir jetzt zur Betrachtung unsrer Figur

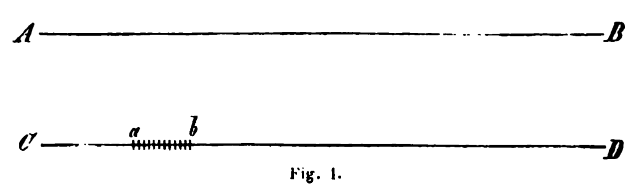


Fig. 1.

zurück, so ist begreiflich, dass $AB = CD$ erscheine. Wir haben die Linien, die wir betrachten, stets fixirt, und haben die Muskelgefühle, welche entstehen, wenn wir unsern Fixationspunkt von einem Ende der Linie auf das andre überführen, bezüglich ihres Zusammenhanges mit räumlichen Grössen, lediglich aus den Raumanschauungen der centralen Netzhaut kennen gelernt. Hiermit ist ein bestimmtes Muskelgefühl ein bestimmtes Maass der Grösse geworden. Es behält nun den räumlichen Werth, mit welchem es markirt worden, für alle Fälle, und folglich auch dann, wenn die Linie CD exceptioneller Weise mit denjenigen seitlichen Theilen des Gesichtsfeldes betrachtet wird, in welchen der blinde Fleck liegt.

§ 42. Wie unsre Grössenanschauungen sehr häufig durch die Muskelgefühle Bestimmungen erhalten, welche mit den primitiv sinnlichen Eindrücken nichts zu thun haben, ja sogar denselben widersprechen können, so werden sie vielfältigst auch von geometrischen Anschauungen und Vorstellungen beeinflusst. Zwei Parallellinien erscheinen uns gleich lang, wenn sie sich mit ihren Enden nicht überragen, oder wenn die eine die andre, etwa nach oben um so viel überragt, als sie von der andern überragt wird nach unten. Desgleichen erscheinen Linien gleich lang, wenn sie als Radien eines Kreises auftreten.

Die Distanz zweier Parallellinien erscheint uns überall gleich

gross, nicht blos wenn wir dieselbe durch Messung überall gleich befunden, sondern auch wenn wir sie an nur zwei Punkten gleich, die Linien selbst aber als gerade erkannt haben. In unzähligen Fällen gewinnen wir unsre Grössenanschauungen auf diesem Wege, und nicht dadurch, dass wir die Distanz zweier Punkte nach der Zahl der zwischen denselben befindlichen Maasseinheiten abschätzen. Wenn nun die auf dem einen oder dem andern Wege gewonnenen Grössenanschauungen sich widersprechen, so wird nicht selten die aus geometrischen Combinationen entstandene ihre Gegnerin verdrängen.

Es ist äusserst wahrscheinlich, dass die Machtlosigkeit des blinden Fleckes in Angelegenheit der Grössenschätzungen sehr wesentlich von einem derartigen Vorwiegen der geometrischen Vorstellungen abhänge. Man stelle sich vor, das Netzhautbild einer Linie schneide die Eintrittsstelle des Sehnerven, so sollte dem rein sinnlichen Eindruck zufolge die Linie um so viel Maasseinheiten kürzer erscheinen, als Empfindungskreise im Durchmesser eben dieser Stelle in Wegfall gekommen. Aber freilich kann eine Linie nur kürzer werden, wenn ihre Endpunkte sich nähern, und die Sinnlichkeit ist darum unfähig diese gegenseitige Annäherung zu bewirken, weil sie dann mit sich selbst in Widerspruch gerathen würde. Sollte nämlich der Endpunkt *a* beispielsweise dem Endpunkte *b* genähert werden, so müsste er aus den räumlichen Beziehungen zu allen andern Netzhautpunkten gerissen werden, in welchen er durch sinnliche Mittel unverrückbar gehalten wird. Denn die Stellung jedes Punktes im Sehfelde ist bedingt durch seine räumlichen Beziehungen zu jedem andern Punkte des Sehfeldes, und diese Beziehungen sind uns nicht nur durch unzählige Erfahrungen vollständig bekannt, sondern auch darum beständig präsent, weil, so lange wir wachen, wir von jedem Punkte, sogar bei geschlossenen Augen, einen Eindruck erhalten. Die Verkürzung der Netzhautlinie, welche die Eintrittsstelle des Sehnerven schneidet, erfolgt daher deshalb nicht, weil der sinnliche Eindruck, welcher die Verkürzung fordert, unendlich schwächer ist als die vielen sinnlichen Eindrücke, welche sie verbieten.

Lotze hat an sich die pathologisch interessante Erfahrung gemacht, dass nach heftigen Kopfschmerzen grössere Theile der Netzhaut vollkommen unempfindlich wurden, ohne dass dadurch

die räumlichen Anschauungen irgend eine Veränderung erlitten.*) Diese Erfahrungen sind denen, welche wir am blinden Flecke täglich zu machen Gelegenheit haben, vollkommen entsprechend, und dürfen, da sie dieselbe Erklärung gestatten, nicht als Beweise angeführt werden, dass unsre Grössenanschauungen von der Zahl der gereizten Empfindungskreise unabhängig seien.

Dass eine Verminderung der Zahl der Nervenenden die Grössenanschauungen des Auges in vielen Fällen unverändert lasse, ist also daraus erklärlich, dass die Muskelgefühle und die geometrischen Vorstellungen in vielen Fällen Correctionen abgeben. Im Tastorgan, wo letztere, wenn auch nicht ganz fehlen, doch unverhältnissmässig weniger wirksam sind, ist der Einfluss, welchen die Verminderung der Zahl der sensibeln Nervenenden auf die Grössenanschauungen hat, unverkennbar.

§ 43. Ein Bedenken gegen die Lehre Weber's könnte aus dem Umstande abgeleitet werden, dass die Empfindungskreise, welche alle räumlichen Anschauungen somatisch bedingen sollen, zu keiner Empfindung ihrer eignen Gestalt und Grösse führen. Da jede geradlinige Grenze eines Netzhautbildes die zugehörigen Empfindungskreise nothwendig schneidet, so könnte man verlangen, dass kein geradliniger Contour, sondern ein mit Ausbuchtungen versehener in die Erscheinung trete.

Bei näherer Erwägung wird man indess finden, dass dieses Verlangen nur gerechtfertigt wäre, wenn die über den geradlinigen Contour vorspringenden Theile der Empfindungskreise einen andern Eindruck erzeugten als die nicht über denselben vorspringenden. Dies wäre selbstverständlich nur möglich, wenn innerhalb des Areals eines Empfindungskreises noch Unterscheidungen zu Stande kämen, und wiederum kann von solchen Unterscheidungen nicht die Rede sein, da der Empfindungskreis seinem Begriffe nach ein Elementares ist. Man kann der Annahme solcher Empfindungskreise aus anderweitigen Gründen entgegentreten, nicht aber das Auftreten geradliniger Contoure, welches vielmehr in ihren Consequenzen liegt, zum Vorwurf machen.

§ 44. Ein schon von Weber beseitigter Einwurf gegen die Lehre von den Empfindungskreisen beruhte auf dem Missver-

*) Medicin. Psychologie von Dr. R. H. Lotze 1852. S. 380.

ständnisse, dass die kleinste Distanz, welche man beim Aufsetzen zweier Zirkelspitzen auf die Haut wahrzunehmen im Stande ist, dem Durchmesser eines Empfindungskreises entspreche. Sowohl Kölliker als Lotze haben gezeigt, dass eine solche Gleichstellung mit den Thatsachen nicht vereinbar ist. Allein Weber hatte die Gleichheit beider Werthe auch nirgends behauptet. Vielmehr hatte er die Behauptung aufgestellt, welche, wenn einmal die Existenz anatomisch-physiologischer Elementartheile angenommen wird, unumstösslich ist, dass zwei gereizte Punkte nur dann als zwei gesonderte empfunden werden können, wenn der Abstand derselben grösser ist, als der Durchmesser eines Empfindungskreises. Die Frage, um wieviel derselbe grösser sein müsse, wurde vorläufig dahingestellt.

Wenn also Lotze zeigt, dass die kleinste Distanz, welche man mit Hülfe der Zirkelversuche an einer bestimmten Hautstelle erkennt, immer noch gross genug ist, um beim Bestreichen derselben mit einer Nadelspitze die Richtung der Bewegung zum Bewusstsein zu bringen, so beweist dies zwar, dass zwischen den von den Zirkelspitzen berührten Punkten noch eine Vielheit discret empfindender Theilchen befindlich sein müsse, nur liegt hierin nichts mit der Weber'schen Lehre Unvereinbares.

§ 45. Ich habe in dem Artikel Sehen in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie S. 334 gegen die Weber'sche Lehre einen Einwurf erhoben, welcher darauf beruht, dass die mittlere Grösse der Netzhautelemente viel zu gross und andererseits die kleinste erkennbare Distanz viel zu klein sei, als dass sich die Annahme: ein Empfindungskreis sei unfähig, die Distanz zweier Punkte oder Linien wahrzunehmen, halten lasse.

Aus den bekannten Dimensionen des Auges hat ein mir befreundeter Mathematiker berechnet, dass der Inhalt der Netzhautfläche 600mal grösser ist als der Querschnitt des Sehnerven, nach Abzug seiner Scheide, woraus folgt, dass der Inhalt eines Empfindungskreises im Auge im Mittel 600mal grösser ist, als der Querschnitt einer Opticusfaser. Empfindungskreise von diesen Dimensionen haben Durchmesser, welche die Grösse der kleinsten erkennbaren Distanz so bedeutend übertreffen, dass mir die Unterscheidbarkeit zweier Punkte, deren Bilder auf ein und dasselbe Faserende zu liegen kommen, unzweifelhaft schien.

Indess hat Weber bemerkt, dass der ausserordentlich verschiedene Grad der Schärfe, mit welcher wir im Centrum und in den Seitentheilen der Netzhaut sehen, die Annahme erlaube, dass die Opticusfasern in den gelben Fleck mit einem einfachen Faserende eintreten, in den Seitentheilen der Netzhaut dagegen sich mit mehreren, vielleicht sehr vielen, Zweigen ausbreiten, und muss ich, bei der Möglichkeit einer derartigen anatomischen Anordnung, einräumen, dass der von mir erhobene Einwurf kein entscheidender ist. Es würde also darauf ankommen, den von mir berechneten Mittelwerthen Grenzwerthe zu substituiren, und hieran die Frage zu knüpfen, ob Empfindungskreise von den kleinsten annehmbaren Dimensionen in den kleinsten erkennbaren Distanzen noch Platz finden, eine Voraussetzung, welche mit der Weber'schen Lehre untrennbar verbunden ist. Ich halte die Entscheidung dieser Frage nicht für unmöglich.

§ 46. Seit der Veröffentlichung meiner Abhandlung: Sehen, im Jahre 1846 hat die Erkenntniss des Netzhautgewebes und seiner Functionen sich um Vieles erweitert. Die Versuche Heinrich Müller's haben gelehrt, dass die Schicht der Stäbchen und Zapfen diejenige ist, welche den Lichtreiz unmittelbar aufnimmt, und die histologischen Untersuchungen haben ergeben, dass der gelbe Fleck, also die empfindlichste Stelle der Netzhaut, nur Zapfen enthalte. Die Zapfen der *macula lutea* sind demnach Nervenenden, und da eine Opticusfaser wohl mehrere Enden, unmöglich aber weniger als eines haben kann, so scheint der kleinste Umfang, welchen ein Empfindungskreis einnehmen muss, durch den Querschnitt eines Zapfens gegeben.

Nach Kölliker beträgt der Durchmesser der Zapfen 0,0020—0,0030''', oder 0,0045—0,0067mm;*) nach H. Müller 0,0040—0,0060mm.**) Mit diesen Angaben stimmen die von Gerlach***) und Frey†) fast vollständig überein. Bergmann giebt an, dass seine Messungen auf die Minimalwerthe Kölliker's, also 0,0045mm

*) Handbuch der Gewebelehre. 3. Aufl. S. 632. (4. Aufl. S. 659.)
**) Zeitschr. f. wissensch. Zoologie. VIII. S. 49.
***) Gewebelehre. 2. Aufl. 1854. S. 496.
†) Histologie und Histochemie des Menschen. 1859. S. 610.

führten.*) Nach brieflichen Mittheilungen von M. SCHULTZE sind die Zapfen im Centrum des gelben Fleckes etwa um die Hälfte kleiner, als an dessen Umfange und messen in der *fovea centralis* nur 0,0010—0,0012''' oder 0,0022—0,0027^{mm}. Wichtig ist, dass H. MÜLLER in seiner neuesten Arbeit über die Zapfen am gelben Flecke des Menschen, diese Angaben von SCHULTZE bestätigt.**)

Durch alle diese Untersuchungen über den Bau und die Functionen des Netzhautgewebes haben die Vorstellungen von den Empfindungskreisen eine ziemlich bestimmte empirische Unterlage gewonnen. Sind die Zapfen einfache Gewebtheile, und ist der von jedem Zapfen ausgehende feine Faden eine elementare Nervenfaser, so ist der Durchmesser der kleinsten Zapfen der Grenzwerth des Durchmessers der Empfindungskreise nach der Seite des Kleinen, und dass die Anatomen sowohl den Zapfen als dessen Ausläufer für histologische Elementartheile halten, ist bekannt. Unter diesen Umständen gewinnen die Versuche über die kleinsten erkennbaren Distanzen ein neues Interesse, und für die Kritik der WEBER'schen Lehre eine entschiedene Bedeutung. Würde sich nun finden, dass Reize, welche in den Umfang eines und desselben Zapfens fallen, unterscheidbare Empfindungen bedingen, so wäre ein Widerspruch zwischen der Lehre von den Empfindungskreisen und der Histologie unverkennbar, und kann nur die Frage sein, ob jene oder diese Recht habe.

A. Schlüsse auf die Grösse der Elementartheile der Netzhaut aus der Grösse der kleinsten erkennbaren Distanzen.

§ 47. Ueber die Werthe der kleinsten erkennbaren Distanzen liegen sehr zahlreiche aber nur mangelhafte Beobachtungen vor. Man hat nämlich den Einfluss der Irradiation unberücksichtigt gelassen, der ziemlich bedeutend und jedenfalls nicht zu vernachlässigen ist. Durch die Irradiation der beobachteten Linien oder Punkte ist die zwischen denselben befindliche Distanz von jeder Seite um den Radius eines Zerstreuungskreises kleiner geworden. Wie geringfügig diese Verkleinerung, absolut genommen,

---

*) Anatomisches und Physiologisches über die Netzhaut Zeitschr. f. rationelle Medicin. 1858. S. 97.

**) Würzburger naturw. Zeitschr. II. S. 218.

auch ist, so ist sie doch eine erkennbare und folglich für Distanzen, welche an der Grenze des Erkennbaren liegen, eine einflussreiche. Aus dem Nachfolgenden wird sich ergeben, dass die berechneten Werthe der kleinsten erkennbaren Distanzen unter Rücksichtnahme auf die Irradiation um das Doppelte kleiner ausfallen.

Da also der Durchmesser des Zerstreuungskreises von dem geometrischen Netzhautbilde der kleinsten erkennbaren Distanz in Abzug zu bringen ist, und da die Grösse dieses Durchmessers von den verschiedensten Umständen abhängt, so mussten die Beobachtungen über die kleinsten erkennbaren Distanzen einerseits und über die Grössen der Irradiation andererseits nicht nur von denselben Personen, sondern auch unter möglichst gleichen Bedingungen ausgeführt werden. Zu dem Zwecke wurden die beiden Versuchsreihen, um welche es sich handelte, gleichzeitig in Angriff genommen, und wurde mit den Versuchen regelmässig gewechselt. Immer wurden zwanzig Versuche angestellt in der Weise, dass die den Distanzen geltenden auf die ungeraden Zahlen fielen, die zur Ermittelung der Irradiation erforderlichen dagegen auf die geraden Zahlen.

Als instrumentales Hülfsmittel dient der bereits oben (§ 5) beschriebene Schraubenmikrometer. In allen Versuchen wurde dem Instrumente eine solche Stellung gegeben, dass sich die Drähte als dunkele Fäden gegen einen hellen Hintergrund absetzten. Die Entfernung des Auges von den beiden Drähten wurde in jeder Versuchsreihe constant erhalten und entsprach der passendsten Sehweite.

Ich werde, um eine genaue Einsicht in das von mir eingeschlagene Verfahren möglich zu machen, eine Versuchsreihe mit allen Einzelnheiten vorlegen, und will zur Abkürzung der Darstellung folgende Zeichen einführen:

S die passendste Sehweite, vom Objecte bis zum mittleren Knotenpunkte des Auges gerechnet.

D die kleinste erkennbare Distanz der Mikrometerfäden.

D' diejenige Distanz der Mikrometerfäden, welche der Dicke des Drahtes gleich erscheint.

δ die kleinste erkennbare Netzhautdistanz ohne Rücksicht auf die Irradiation.

δ' die kleinste erkennbare Netzhautdistanz mit Rücksicht auf die Irradiation, d. h. nach Abzug des Zerstreuungskreises.

Z die von der Irradiation abhängige Verbreiterung der Drähte, welche die scheinbare Distanz beider verkleinert.

ζ die Grösse des Zerstreuungskreises auf der Netzhaut, woraus sich beiläufig ergiebt, dass $\delta'=\delta-\zeta$.

Versuch 37.

Angestellt vom Verfasser. $S=337^{mm}$. Die Beschaffenheit des Auges aus Vers. 13 bekannt.

Beobachtung	D	Beobachtung	D
1	0,159mm	2	0,216mm
3	0,161	4	0,215
5	0,177	6	0,234
7	0,166	8	0,204
9	0,165	10	0,192
11	0,140	12	0,187
13	0,153	14	0,216
15	0,167	16	0,210
17	0,161	18	0,272
19	0,170	20	0,206
im Mittel:	0,1623mm		0,2102mm.

Nun verhält sich:

$$\delta : D = 15^{mm} : S$$

$$\delta = \frac{0,1623 . 15}{337}$$

$$\delta = 0,0072^{mm}.$$

Ferner ist mit Rücksicht auf die in § 4 erörterte Gleichung:

$$Z = \frac{D'-B}{2}$$

wo B die Dicke der Mikrometerfäden bedeutet und dem Werthe $0,05^{mm}$ entspricht. Daher ist

$$Z = \frac{0,2102 - 0,05^{mm}}{2}$$

$$Z = 0,0801^{mm}$$

und verhält sich

$$\zeta : Z = 15^{mm} : S$$

also $\zeta = \frac{0,0801 . 15}{337} = 0,0036^{mm}$.

Endlich ist

$$\delta' = \delta - \zeta$$
$$\delta' = 0{,}0072 - 0{,}0036^{mm}$$
$$\delta' = 0{,}0036^{mm}.$$

Im vorliegenden Falle würde also der Werth der kleinsten erkennbaren Netzhautdistanz genau um das Doppelte überschätzt werden, wenn man den Einfluss der Irradiation nicht in Rechnung brächte. Beachtung verdient, dass $\delta' = 0{,}0036^{mm}$ merklich kleiner als der von den meisten Histologen gefundene mittlere Durchmesser der Zapfen ($= 0{,}0056^{mm}$) ist.

Dass ζ in vorstehender Versuchsreihe beträchtlich grösser ist, als in der früher unter Nr. 13 von mir ausgeführten, hat mit Rücksicht auf die Verschiedenheit der Versuchsbedingung nichts Anstössiges. Die viel geringere Dimension des Netzhautbildchens im gegenwärtigen Versuche, erlaubte vielmehr ein Anwachsen des ζ-Werthes vorauszusetzen (vgl. § 12).

Die Brauchbarkeit der aus der Versuchsreihe 37 abgeleiteten Mittelwerthe δ' und ζ wird schon durch das geringe Schwanken der in Rechnung gebrachten einzelnen Beobachtungen verbürgt; gleichwohl habe ich für angemessen gehalten den Versuch zu wiederholen.

Versuch 38.

Vom Verfasser unter den bei 37 bemerkten Bedingungen angestellt. Ich notire diesmal nur die mittleren Werthe, welche hier, wie in allen folgenden Versuchen aus 10 Beobachtungen abgeleitet sind.

Es war S constant $= 337^{mm}$, $D = 0{,}1505^{mm}$, $D' = 0{,}1975^{mm}$, $\delta = 0{,}0067^{mm}$, $\zeta = 0{,}0033^{mm}$, $\delta' = 0{,}0034^{mm}$. Die Werthe δ' und ζ sind also höchst approximativ dieselben wie vorher.

Versuch 39.

Angestellt von Hrn. Professor Dr. Vogel. Gesunde aber sehr kurzsichtige Augen. $S = 107^{mm}$, $D = 0{,}0314^{mm}$, $D' = 0{,}0766^{mm}$, $\delta = 0{,}0044^{mm}$, $\zeta = 0{,}0019^{mm}$, $\delta' = 0{,}0025^{mm}$.

Versuch 40.

Von Hrn. stud. SOLGER. Augen von mittlerer Schärfe, zu Kurzsichtigkeit hinneigend. $S=167^{mm}$, $D=0,0476^{mm}$, $D'=0,1205^{mm}$, $\delta=0,0043^{mm}$, $\zeta=0,0031^{mm}$, $\delta'=0,0012^{mm}$.

Die auffallende Kleinheit des Werthes δ', welcher viermal kleiner als der mittlere Durchmesser der Zapfen nach KÖLLIKER, und um das Doppelte kleiner als der Durchmesser nach SCHULTZE ist, veranlasste mich, den wahrscheinlichen Beobachtungsfehler zu berechnen, welcher für $D=\frac{1}{44,4}$, für $D'=\frac{1}{34,8}$ ist, und hiernach auf die von mir berechneten Werthe ζ und δ' keinen Einfluss hat. Wichtiger noch ist, dass bei Wiederholung der Versuche am rechten Auge höchst annäherungsweise dieselben Werthe wiederkehrten. Es fand sich nämlich $\zeta=0,0035$ und $\delta=0,0011^{mm}$. Ausserordentlich interessant ist die relative Grösse des Zerstreuungskreises. Wollte man bei Berechnung der kleinsten erkennbaren Netzhautdistanz die Irradiation unberücksichtigt lassen, so würde man diese Distanz um mehr als das Dreifache zu gross schätzen.

Versuch 41.

Angestellt von Hrn. Dr. SCHWEIGGER-SEIDEL. Die Beschaffenheit des Auges aus Vers. 14 bekannt. $S=257^{mm}$, $D=0,0538^{mm}$, $D'=0,0871^{mm}$, $\delta=0,0031^{mm}$, $\zeta=0,0011^{mm}$, $\delta'=0,0020^{mm}$.

Versuch 42.

Angestellt von Hrn. Ingenieur VOLKMANN. Das beste Auge, welches ich bis jetzt zu beobachten Gelegenheit hatte (vgl. Vers. 22). $S=407^{mm}$, $D=0,0645^{mm}$, $D'=0,1080^{mm}$, $\delta=0,0024^{mm}$, $\zeta=0,0011^{mm}$, $\delta'=0,0013^{mm}$.

Versuch 43.

Von Hrn. Dr. A. GRÄFE. Normales Auge. $S=307^{mm}$, $D=0,0634^{mm}$, $D'=0,0796^{mm}$, $\delta=0,0031^{mm}$, $\zeta=0,0008^{mm}$, $\delta'=0,0023^{mm}$.

Versuch 44.

Von Hrn. stud. med. GEISS. Das früher gute Auge hat im Verlauf der Universitätszeit merklich gelitten. Es ist in hohem

Grade reizbar und etwas kurzsichtig geworden. $S=207^{mm}$, $D=0{,}0565^{mm}$, $D'=0{,}115^{mm}$, $\delta=0{,}0041^{mm}$, $\zeta=0{,}0024^{mm}$, $\delta'=0{,}0017^{mm}$.

Versuch 45.

Von Frau A. Das in der Jugend sehr ausgezeichnete Auge ist im Verlauf der Jahre weitsichtig und höchst reizbar geworden. $S=327^{mm}$, $D=0{,}0945^{mm}$, $D'=0{,}1863^{mm}$, $\delta=0{,}0043^{mm}$, $\zeta=0{,}0031^{mm}$, $\delta'=0{,}0012^{mm}$.

Versuch 46.

Von Fräulein G. Auge ohne besondere Fehler oder Vorzüge. $S=227^{mm}$, $D=0{,}1166^{mm}$, $D'=0{,}1491^{mm}$, $\delta=0{,}0077^{mm}$, $\zeta=0{,}0033^{mm}$, $\delta'=0{,}0044^{mm}$.

Versuch 47.

Von Hrn. Referendar Volkmann (vgl. Vers. 15). $S=257^{mm}$, $D=0{,}0975^{mm}$, $D'=0{,}1614^{mm}$, $\delta=0{,}0057^{mm}$, $\zeta=0{,}0032^{mm}$, $\delta'=0{,}0025^{mm}$. Die Drähte wurden gegen den hellen Himmel betrachtet, und hat wahrscheinlich die Blendung des Auges sämmtliche Werthe in die Höhe getrieben.

Versuch 48.

Von Hrn. Ingenieur Theodor. Junges normales Auge. $S=307^{mm}$, $D=0{,}0696^{mm}$, $D'=0{,}1011^{mm}$, $\delta=0{,}0034^{mm}$, $\zeta=0{,}0013^{mm}$, $\delta'=0{,}0021^{mm}$.

Versuch 49.

Von Hrn. Dr. Sievert. Sehr kurzsichtiges, sonst gutes Auge. Die Versuche werden mit der Brille ausgeführt. $S=307^{mm}$, $D=0{,}0628^{mm}$, $D'=0{,}1078^{mm}$, $\delta=0{,}0031^{mm}$, $\zeta=0{,}0013^{mm}$, $\delta'=0{,}0018^{mm}$.

Versuch 50.

Von Fräulein A. Normales Auge. $S=257^{mm}$, $D=0{,}0582^{mm}$, $D'=0{,}0886^{mm}$, $\delta=0{,}0038^{mm}$, $\zeta=0{,}0012^{mm}$, $\delta'=0{,}0026^{mm}$.

Versuch 51.

Von Frau V. S. Normales, obschon ziemlich reizbares Auge. $S = 257^{mm}$, $D = 0{,}0495^{mm}$, $D' = 0{,}1015^{mm}$, $\delta = 0{,}0029^{mm}$, $\zeta = 0{,}0015^{mm}$, $\delta' = 0{,}0014^{mm}$. In diesem Falle ist der wahrscheinliche Fehler für δ' berechnet worden. Er beträgt $0{,}000072^{mm}$ und hat also auf den Werth der kleinsten erkennbaren Distanz keinen Einfluss. Ich erwähne dies als einen neuen Beleg für die Zuverlässigkeit des von mir angewandten Experimentalverfahrens. Die junge Dame kam vollkommen ungeübt zu den Beobachtungen, und ist nicht anzunehmen, dass die von ihr abgelesenen Werthe einen Vorzug vor anderen haben sollten.

Versuch 52.

Von Hrn. stud. med. Jahn. Normales Auge. $S = 207^{mm}$, $D = 0{,}0690^{mm}$, $D' = 0{,}1190^{mm}$, $\delta = 0{,}0050^{mm}$, $\zeta = 0{,}0025^{mm}$, $\delta' = 0{,}0025^{mm}$.

Versuch 53.

Von Hrn. stud. med. Krause. Normales sehr geübtes Auge. $S = 257^{mm}$, $D = 0{,}0838^{mm}$, $D' = 0{,}1238^{mm}$, $\delta = 0{,}0049^{mm}$, $\zeta = 0{,}0021^{mm}$, $\delta' = 0{,}0028^{mm}$. Dieser Versuch war bei Tageslichte angestellt worden. Er wurde bei Lampenlicht wiederholt, so dass sich die Drähte als schwarze Fäden von dem weissen Milchglase der Lampe absetzten. Nun ergab sich $\zeta = 0{,}0023^{mm}$ und $\delta' = 0{,}0024^{mm}$.

Versuch 54.

Von Hrn. Professor Welcker. Angabe über das Auge in Vers. 16. $S = 162^{mm}$, $D = 0{,}0368^{mm}$, $D' = 0{,}0783^{mm}$, $\delta = 0{,}0034^{mm}$, $\zeta = 0{,}0013^{mm}$, $\delta' = 0{,}0021^{mm}$. Die hier verzeichneten Werthe sind Mittel aus zwei Versuchsreihen, jede zu zehn Beobachtungen. Da die Ergebnisse der einen und der anderen Versuchsreihe merklich von einander abweichen, so sind auch die vorstehenden Mittelwerthe nur mit Vorsicht zu nehmen; doch stimmt der Werth ζ zu dem in der dritten Versuchsreihe und nach einem anderen Experimentalverfahren ermittelten.

Um die Resultate der Versuche noch übersichtlicher zu machen, habe ich sie in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Tabellarische Uebersicht über die Werthe der kleinsten erkennbaren Distanzen.

Beobachter	δ	δ'	ζ	$\frac{\delta}{\delta'}$
Der Verfasser	0,0072	0,0036	0,0036	2,000
Prof. Vogel	0,0031	0,0020	0,0011	1,550
E. Volkmann	0,0024	0,0013	0,0011	1,846
Dr. A. Gräfe	0,0031	0,0023	0,0008	1,348
stud. Geiss	0,0041	0,0017	0,0024	2,412
Frau A.	0,0043	0,0012	0,0031	3,583
Fräulein G.	0,0077	0,0044	0,0033	1,750
O. Volkmann	0,0057	0,0025	0,0032	2,280
H. Theodor	0,0034	0,0021	0,0013	1,619
Dr. Sievert	0,0031	0,0018	0,0013	1,722
Fräulein A.	0,0038	0,0026	0,0012	1,462
Frau V. S.	0,0029	0,0014	0,0015	2,071
stud. Jahn	0,0050	0,0025	0,0025	2,000
stud. Krause	0,0049	0,0028	0,0021	1,750
stud. Solger	0,0043	0,0012	0,0031	3,583
Dr. Schweigger-Seidel	0,0031	0,0020	0,0011	1,550
Prof. Welcker	0,0034	0,0021	0,0013	1,619
Summe	0,0715	0,0375	0,0340	34,145
im Mittel	0,0042	0,0022	0,0020	2,009

§ 48. Aus den im vorstehenden § mitgetheilten Versuchen ergiebt sich Folgendes.

1. Alle bisherigen Angaben über die kleinsten noch erkennbaren Distanzen auf der Netzhaut sind in Folge vernachlässigter Irradiation sehr viel zu gross. In der letzten Columne meiner Tabelle, mit der Ueberschrift $\delta:\delta'$, ist das Wievielfache der Ueberschätzung angegeben, wobei nicht unbemerkt zu lassen, dass die Ueberschätzungsfehler noch grösser ausgefallen sein würden, wenn ich mit weissen Linien auf schwarzem Grunde, statt umgekehrt, operirt hätte, und wiederum grösser, wenn ich zu meinen Versuchen leuchtende Punkte auf dunkelem Grunde hätte benutzen wollen. Die Angaben über die kleinsten erkennbaren Netzhautdistanzen, welche man aus der Beobachtung von Doppelsternen abgeleitet, sind in Rücksicht auf die starke Irradiation des Glanzlichtes vorzugsweise unbrauchbar.*)

*) Ich glaube bemerkt zu haben, dass die Irradiation von Punkten einen grösseren Umfang hat als die von Linien, und würden daher die an Doppel-

2. Die unter δ notirten Werthe beweisen, dass das Vermögen des Auges, kleine Objecte zu erkennen, bei verschiedenen Individuen sehr verschieden ist. Die von vorn herein unwahrscheinliche Angabe Ehrenberg's, dass es eine Normalkraft für das Auge des Menschen in Rücksicht auf das Sehen der kleinsten Theile gebe, welche nur selten und wenig schwanke,*) dürfte durch die vorliegenden Zahlenwerthe um so bestimmter widerlegt sein, als meine Versuche auch die Ursachen der vorkommenden Schwankungen zu erkennen gestatten. Eine physikalische Ursache ist in dem sehr verschiedenen Grade der Lichtzerstreuung gegeben, eine physiologische in der Ungleichheit des Unterscheidungsvermögens.

3. Die unter δ' notirten Werthe, welche die Grössen der kleinsten erkennbaren Netzhautdistanzen unter Berücksichtigung ihrer von der Irradiation abhängigen Verschmälerung angeben, variiren, auch wenn wir von dem Welcker'schen Falle absehen, um das Dreifache. Es giebt also Menschen, welche, abgesehen von vorhandenen optischen Differenzen, dreimal feiner sehen als Andere.**)

4. Die unter ζ aufgeführten Werthe bestätigen im Allgemeinen, dass die Irradiation individuellen Verschiedenheiten unterliegt. Da indess die Grösse der Zerstreuungskreise von der Grösse der Netzhautbilder abhängig ist, und diese Bilder, mit Rücksicht auf die Verschiedenheit der benutzten Sehweiten, nicht unerheblich variirten, so ist auf die Schwankungen der ζ-Werthe in vorstehender Tabelle kein besonderes Gewicht zu legen.

5. Das für meine Zwecke bei weitem wichtigste Resultat ist aber, dass die kleinsten erkennbaren Distanzen (unser δ') ohne Ausnahme und meistens viel kleiner sind, als der Durchmesser der Zapfen nach Kölliker und Müller, ja sogar in einzelnen Fällen nur halb so gross, als eben diese Durchmesser nach Schultze.

---

sternen gemachten Beobachtungen, welche von dem Einflusse der Irradiation abstrahiren, auch aus diesem Grunde sich zur Ableitung der kleinsten erkennbaren Distanzen am wenigsten eignen.

*) Im Auszuge in Fechner's Elementen der Psychophysik. I. S. 283.

**) Ob nun so grosse Unterschiede der Gesichtsschärfe lediglich von dem Grössenunterschiede der Empfindungskreise abhängen, muss dahingestellt bleiben.

§ 49. Es ist einleuchtend, dass auf die Grösse des Werthes δ' Alles ankomme, wenn es sich um Entscheidung der Frage handelt, ob die Lehre von den Empfindungskreisen mit den Angaben der Histologen über die Elementartheile der Netzhaut vereinbar sei. Nach den vorliegenden Beobachtungen sind die δ'-Werthe zu klein, und doch lässt sich nachweisen, dass eine ganz unerlässliche Correctur sie noch weiter verkleinert.

Ich habe gefunden, dass die Fähigkeit des Auges, sehr kleine Distanzen zu erkennen, durch Uebung des Auges beträchtlich gesteigert werden könne. Ich habe dies an mir selbst erfahren, als ich einige Wochen lang täglich Versuche über die kleinsten erkennbaren Distanzen anstellte, und doch ist mein Auge zur Anstellung von Uebungsversuchen unstreitig wenig geeignet, in sofern es schon zu viel Uebung besitzt, um noch erhebliche Fortschritte machen zu können. Ich will die bezügliche Versuchsreihe, welche 900 Beobachtungen umfasst, im Nachstehenden vorlegen und notire die aus je 100 Fällen abgeleiteten Mittelwerthe.

Versuch 55.

Centurie	Werthe der kleinsten erkennbaren Distanzen.		
	Minimum	Maximum	Mittelwerth
I	0,137mm	0,188mm	0,1609mm
II	0,129	0,177	0,1499
III	0,133	0,173	0,1501
IV	0,128	0,164	0,1485
V	0,124	0,164	0,1402
VI	0,122	0,157	0,1401
VII	0,111	0,142	0,1262
VIII	0,110	0,146	0,1254
IX	0,109	0,143	0,1250

Wenn es sich um die Frage handelt, welcher Bruchtheil der Netzhaut zur Vermittelung eines Distanzgefühls ausreiche, so muss die Rechnung von den Resultaten der acht ersten Centurien ganz absehen und sich an die Ergebnisse der neunten halten, welche zur Beurtheilung der kleinsten erkennbaren Distanz den allein richtigen Maassstab liefert. In Centurie IX betrug diese Distanz 0,1250 und die Sehweite 307mm. Hiernach ist $\delta = 0,0061^{mm}$. Wenn nun nach Versuch 37 der Zerstreuungskreis in meinem Auge $0,0036^{mm}$ beträgt, so ergiebt sich $\delta' = 0,0025^{mm}$, ein Werth, wel-

cher um ein Drittel kleiner ist, als der in früheren Versuchen gefundene. (Man vergl. Vers. 37.)

Ich bemerkte schon, dass mein Auge zur Darstellung der Uebungseinflüsse wenig geeignet sein dürfte, und habe mit Rücksicht hierauf einen meiner früheren Schüler, Hrn. Jahn, ersucht, die Versuche zu wiederholen. In dem Experimentalverfahren ist nichts verändert worden, und sind die Ergebnisse seiner Beobachtungen in der nachstehenden Tabelle nach demselben Principe geordnet worden, wie in der soeben besprochenen Versuchsreihe.

Versuch 56

Centurie	Werthe der kleinsten erkennbaren Distanzen. Minimum	Maximum	Mittelwerth
I	0,070mm	0,096mm	0,0752mm
II	0,067	0,087	0,0740
III	0,065	0,082	0,0733
IV	0,060	0,080	0,0686
V	0,060	0,084	0,0701
VI	0,056	0,074	0,0627
VII	0,056	0,067	0,0623
VIII	0,056	0,065	0,0607

Die Sehweite war constant $=257^{mm}$, und die kleinste erkennbare Distanz in der achten Centurie $=0,0607^{mm}$. Hiernach ist $\delta=0,0035^{mm}$. Da nun nach Versuch 53 der Durchmesser des Zerstreuungskreises $=0,0025^{mm}$ ist, so ergiebt sich $\delta'=0,0010^{mm}$, also um mehr als das Doppelte kleiner als in Versuch 53.

Aber auch Herr Jahn besitzt ein sehr geübtes Auge und jedenfalls ein geübteres als die grosse Mehrzahl derer, welche sich an meinen Versuchen über die kleinsten erkennbaren Distanzen betheiligt haben. Wenn nun der mittlere Werth von δ' nach Maassgabe jener an ungeübten Augen angestellten Versuche mit $0,0022^{mm}$ berechnet wurde, so kann kein Zweifel sein, dass dieser Werth um mehr als das Doppelte zu gross sei und mindestens auf $0,0011^{mm}$ reducirt werden müsse.

Hiernach sind die kleinsten erkennbaren Distanzen über viermal kleiner als die Durchmesser der Zapfen, wenn Kölliker's Angaben gelten, und mehr als das Doppelte kleiner, wenn die Messungen von M. Schultze und H. Müller den Vorzug verdienen.

§ 50. Aber selbst die um das Doppelte, respective Vierfache verkleinerten δ'-Werthe dürften noch zu gross sein. Irre ich nicht, so ist das Princip der Rechnung, welches ich befolgt habe, kein stichhaltiges. Wie früher erwiesen ist $\delta' = \delta - \zeta$, und als δ wurde der mittlere Werth der kleinsten erkennbaren Distanzen betrachtet, d. h. also die Zahl, welche man erhält, wenn man die Summe der kleinsten erkennbaren Distanzen mit der Zahl der gemachten Beobachtungen dividirt. Ein derartiges Verfahren führt auf diejenige Distanz, welche beim Aufsuchen der kleinsten Distanzen vor allen zu erwarten ist; es ist dagegen nicht geeignet, über die letzten Grenzen des Erkennbaren Aufschluss zu geben. Kommt es auf die Bestimmung dieser Grenzen an, so muss man sich an den Minimalwerth von δ halten und muss über viele Versuche gebieten.*)

Man darf nicht einwerfen, dass der Minimalwerth, in sofern er nur einen Versuch für sich hat, sehr unsicher erscheine; denn bei der Art, wie er gewonnen wird, kann über seine Gültigkeit kaum ein Zweifel aufkommen. Man muss nämlich bedenken, dass die beiden Fäden des Schraubenmikrometers sich beim Anfange des Versuches berühren, und dass die Aufgabe des Beobachters darin besteht, die Distanz derselben, mit Hülfe der Schraube, so lange zu vergrössern, bis die Empfindung des Einfachen durch die des Doppelten verdrängt wird. Bei diesem Verfahren kann von Beobachtungsfehlern nicht wohl die Rede sein, vielmehr besagt jede Messung, wie fein man im einzelnen Falle unterschieden habe, und gerade der Fall, wo man am feinsten empfunden, ist der, welcher in Frage kommt.

Berechnen wir nach den eben erörterten Grundsätzen den Vers. 57 von Jahn, so ergiebt sich Folgendes. Da der Minimalwerth der kleinsten erkennbaren Distanz $0{,}056^{mm}$, und die Sehweite 257^{mm} betrug, so ist $\delta = 0{,}0030^{mm}$. Zieht man hiervon den Zerstreuungskreis mit $0{,}0025^{mm}$ ab, so bleibt $\delta' = 0{,}0005^{mm}$.

*) Die δ'-Werthe der Tabelle, welche am Schlusse von § 47 vorgelegt wurde, stützen sich, mit Ausnahme von Vers. 38, nur auf zehn Beobachtungen. Eine so geringe Anzahl von Fällen erlaubt zwar die Ableitung eines δ-Werthes, welcher sehr grosse Chancen des Vorkommens für sich hat, gestattet aber kein Urtheil über die kleinste erkennbare Distanz im absoluten Sinne.

Hiernach ist die kleinste erkennbare Distanz elfmal kleiner, als der Durchmesser der Zapfen nach Kölliker.

Es entgeht mir nicht, dass Rechnungen, welche wie die von mir angestellte δ' aus $\delta-\zeta$ ableiten, vollkommen zuverlässig nur dann sein können, wenn die Werthe δ und ζ durch alternirende Versuche bestimmt sind (vgl. § 47), und in Jahn's Versuchen über die Uebungseinflüsse ist die Bestimmung der gleichzeitigen ζ-Werthe vernachlässigt worden. Hiernach könnten die von mir angebrachten Correcturen, in Folge welcher die kleinsten erkennbaren Distanzen eine beträchtliche Verkleinerung erfuhren, bedenklich erscheinen. Dem entgegen bemerke ich, dass alle Versuche mit demselben Schraubenmikrometer und unter Anwendung derselben Sehweite angestellt worden sind. Es ist also dafür gesorgt worden, dass die Bedingungen, von welchen die Grösse der Irradiation (unser ζ) wesentlich abhängt, überall dieselben waren, und ist demnach nicht vorauszusetzen, dass die Subtraction $\delta-\zeta=\delta'$ zu irgend erheblichen Irrungen geführt haben sollte. Die kleinen Rechnungsfehler, welche unter so bewandten Umständen vorgekommen sein können, werden wahrscheinlich dadurch vollständig übertragen, dass die aus den Jahn'schen Versuchen abgeleitete kleinste Distanz noch immer kein Grenzwerth ist. Denn einerseits ist anzunehmen, dass länger fortgesetzte Uebungen die Distanz δ' noch weiter verkleinert haben würden, andererseits giebt es Personen, welche in Bezug auf Schärfe des Sehens Hrn. Jahn sehr überlegen sind.

§ 51. Die kleinsten erkennbaren Netzhautdistanzen sind erwiesenermaassen viel kleiner als die Durchmesser der Zapfen, eine Erfahrung, welche die Lehre von den Empfindungskreisen in Schwierigkeiten verwickelt. Der Theorie nach sollen zwei Netzhautpunkte nur dann unterscheidbar sein, wenn zwischen denselben wenigstens ein Empfindungskreis liegt, welcher von dem Reize der bezüglichen Punkte unberührt bleibt; und nun findet sich, dass der zwischen zwei unterscheidbaren Linien gelegene Raum gegen fünfmal kleiner sein kann, als der Durchmesser eines Zapfens nach Schultze's Messung. Gleichwohl sind die Zapfen die unmittelbaren Substrate der Empfindung, und werden von den Anatomen für Elementartheile gehalten.

Die anatomischen Schwierigkeiten werden dadurch noch grösser, dass wir bis jetzt annahmen, die Wahrnehmung der kleinsten erkennbaren Distanz sei durch die Function eines einzigen zwischen den distincten Punkten gelegenen Empfindungskreises vermittelt, während hierzu die Gegenwart mehrerer, vielleicht vieler solcher Kreise erforderlich sein dürfte. Wenn nämlich die Wahrnehmung der kleinsten Distanz δ durch die Thätigkeit eines einzigen Empfindungskreises vermittelt würde, so müsste die Erregung zweier Empfindungskreise eine Distanz zur Anschauung bringen, welche grösser als die kleinste wäre. Würden also zwischen die Netzhautbilder zweier Linien abwechselnd ein und zwei Empfindungskreise eintreten, so würden dieselben nicht als Parallellinien erscheinen können. Hieraus folgt aber, dass die engsten Parallellinien in der ungeheuren Mehrzahl der Fälle als nicht parallel erscheinen müssten. Denn wie man sich die Anordnung der Elementartheile auch denken möge, so würden doch zwei Parallellinien, welche an einer bestimmten Stelle der Netzhaut und bei einer bestimmten Richtung in der ganzen Länge ihres Verlaufes nur einen und zwar genau einen Empfindungskreis zwischen sich hätten, unstreitig an keiner andern Stelle und in keiner andern Richtung dasselbe Verhalten zeigen.

Uebrigens lässt sich die Unzulässigkeit der Annahme, dass die Wahrnehmung der kleinsten erkennbaren Distanz auf der Function nur eines Empfindungskreises beruhe, noch allgemeiner darthun. Die Thatsache, dass die kleinsten geometrischen Figuren, welche man zu erkennen im Stande ist, bei verschiedener Stellung derselben zum Auge ihre Form nicht ändern, beweist, dass der Einfluss, welchen die Anordnung der musiven Elemente auf die mit ihrer Hülfe construirten Formen nothwendig haben muss, in Folge der Kleinheit eben dieser Elemente verschwindet. Man darf also den Empfindungskreisen keine Grösse zuschreiben, welche die Constanz der Figuren beim Wechsel der Augenstellung unmöglich machen würde. Dies thut man aber, wenn man die kleinste erkennbare Distanz dem Durchmesser eines Empfindungskreises gleich setzt.

Es sei verstattet, die Ergebnisse der Versuche über die kleinsten erkennbaren Distanzen in wenige Worte zusammenzudrängen. Wird der Einfluss der Irradiation gebührend berücksichtigt, so

sind die kleinsten erkennbaren Distanzen selbst ungeübter Beobachter zweimal kleiner als die Durchmesser der Netzhautzapfen, den mittleren Werth dieser sehr gering zu $0{,}0025^{mm}$ angenommen. Durch Uebung wurden aber die kleinsten erkennbaren Distanzen um das Doppelte verkleinert, worauf sie nur dem vierten Theile eines Zapfendurchmessers entsprechen. Indem nun die Wahrnehmung eines Zwischenraumes überall von mehreren und zwar mindestens von zwei Empfindungskreisen abhängig scheint, ist nicht anzunehmen, dass der Durchmesser eines solchen Kreises mehr als $^1/_8$ vom Durchmesser eines Zapfens betrage.

B. Schlüsse auf die Grösse der Empfindungskreise der Netzhaut aus den kleinsten erkennbaren Unterschieden.

§ 52. Wenn die Grösse unserer Raumanschauungen allgemein von der Zahl der gereizten Empfindungskreise abhängt, so müssen auch die Grössenunterschiede, welche wir wahrnehmen, von dem Zahlenunterschiede der erregten Empfindungskreise abhängen. Denn der Unterschied zweier Grössen ist selbst wieder eine Grösse, und die physiologische Begründung dieser Unterschiedsgrösse kann keine andere sein als die aller übrigen Grössen. So lange es sich um rein sinnliche Vorgänge handelt, wird eine Linie *a* nur dann grösser erscheinen als eine Linie *b*, wenn ihr Netzhautbild mehr Empfindungskreise deckt als das der letzteren.

Fragt man, wie viel Empfindungskreise die Linie *a* mehr reizen müsse als *b*, um grösser zu erscheinen, so wäre denkbar, dass schon ein Bruchtheil eines Empfindungskreises zur Begründung eines Grössenunterschiedes ausreichte. Gesetzt nämlich, die eine Linie deckte 10, die andere $10^1/_2$ Empfindungskreise, so würde der nur zur Hälfte gereizte Empfindungskreis immerhin fungiren und einen Unterschied in der Grössenanschauung bedingen können.

Es liegt indessen eine Thatsache vor, welche mit derartigen Voraussetzungen nicht vereinbar ist, die Erfahrung nämlich, dass äusserst feine, gerade und gleichmässig starke Linien als eben solche wahrgenommen werden. Das Netzhautbild einer Linie, welche eine Reihe von Empfindungskreisen schneidet, sollte, auch wenn die Reihe eine geradlinige wäre, ein perlschnurartiges An-

sehen bieten, und müsste, wo die Elementartheile nicht in geraden Linien liegen, als eine Schlangenlinie von höchst ungleicher Dicke auftreten. Dies müsste nämlich dann der Fall sein, wenn der von einem einfachen Empfindungskreise ausgehende Eindruck ein in der Summe vieler Eindrücke unterscheidbares Glied abgäbe.

Also der Umstand, dass gerade und gleichmässig starke Linien auch als gerade und gleichmässig dicke wahrgenommen werden, beweist, dass ein Empfindungskreis mehr oder weniger an der Gestaltung und an der Grösse eines Netzhautbildes nichts ändert. In analoger Weise lässt sich darthun, dass Fälle vorkommen müssen, wo selbst $\mp$ 2 Empfindungskreise die Dimensionen nicht ändern.

Wenn man äusserst feine und möglichst nahe beisammen liegende Parallellinien betrachtet, so erscheinen dieselben parallel, d. h. also, die zwischen denselben gelegene Distanz erscheint überall gleich breit. Die den beiden Linien substruirten Netzhautelemente bilden aber Schlangenlinien, und je nachdem die Einbuchtungen oder Ausbuchtungen derselben sich gegenüber liegen, muss die zwischen den Linienbildern gelegene Distanz schmäler oder breiter sein. Der mögliche Unterschied der Breite beträgt zwei Empfindungskreise (wie die schematische Figur 5 versinnlicht), woraus eben folgt, dass ein Grössenunterschied, welcher zwei Empfindungskreise zum Substrat hat, noch kein merklicher ist.

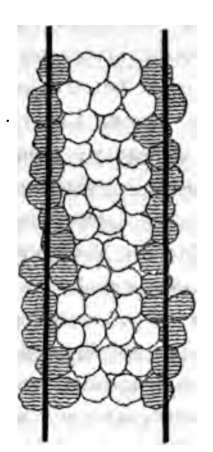


Fig. 5.

Die Annahme, dass die Grössenerscheinungen von der Zahl der Empfindungskreise abhängen, zieht also die zweite nach sich, dass ein merklicher Grössenunterschied durch einen Zahlenunterschied von mindestens zwei Empfindungskreisen bedingt sei.

Hiermit ist ein neuer Weg gegeben, einen Grenzwerth für den Durchmesser des Empfindungskreises zu suchen. Die Aufgabe geht dahin, Versuche über die kleinsten erkennbaren Grössenunterschiede unter Umständen anzustellen, wo die Werthe derselben, absolut genommen, so klein als möglich ausfallen. Be-

zeichnen wir den Unterschied mit u, und den Durchmesser eines Empfindungskreises mit d, so wird der kleinste erkennbare Werth von u nie unter $2\ d$ herabsinken, so dass $\frac{u}{2}$ für d ein Grenzwerth, aber wahrscheinlich noch zu gross ist.

§ 53. Die Objecte, welche unterschieden werden sollen, sind schwarze Linien auf weissem Grunde, welche unter einem Zwischenraum von 28^{mm} parallel neben einander liegen. Ein Längenunterschied findet nicht statt, indem jede 68^{mm} misst, dagegen beträgt die Dicke der einen 1, die der andern $1{,}1^{mm}$. Diese Linien werden mit Hülfe des Makroskops betrachtet, und besteht die Aufgabe des Versuches darin, das Maximum der Verkleinerung zu ermitteln, bei welchem der Unterschied der Liniendicke noch mit Sicherheit erkennbar ist. Um Einflüsse des Vorurtheils unmöglich zu machen, ist die Lage der beiden Linien im Laufe der Versuche vielfältigst und ohne Mitwissen des Beobachters verändert worden.

Versuch 57.

Angestellt von Herrn Dr. Schweigger-Seidel. Der Beobachter erkennt den Unterschied der Liniendicke ohne jemals zu irren, wenn $E = 92''$ Par. und $S = 317^{mm}$ war.*) Unter diesen Umständen ist die Verkleinerung im Netzhautbilde eine 630fache, und berechnet sich also die Breite der 1^{mm} dicken Linie im Netzhautbilde auf $0{,}00158^{mm}$. Indess ist dieser Werth, mit Rücksicht auf die in Vers. 14 constatirte Irradiation, um $0{,}0014^{mm}$ zu steigern, und erhebt sich demnach auf $0{,}00298^{mm}$. Da nun die Dicke der in Vergleich gestellten Linien um $^1/_{10}$ differirt, so beträgt das Netzhautbild des erkennbaren Unterschiedes $0{,}000298^{mm}$, und ist dies der Grenzwerth für $2d$ nach der Seite des Maximum. Mithin würde der Durchmesser eines Empfindungskreises sich auf $0{,}000149^{mm}$ beschränken, eine Grösse, welche, selbst wenn wir das von Schultze aufgestellte Minimalmaass zu Grunde legen, 15mal kleiner als der Durchmesser eines Zapfens ist.

*) E bedeutet hier, wie immer, die Entfernung des betrachteten Gegenstandes von der Linse des Makroskops, und S die Sehweite, d. h. die Entfernung des verkleinerten Bildchens vom mittlern Knotenpunkte des Auges.

Versuch 58.

Angestellt vom Verfasser nach dem Muster des vorigen. Ich erkenne den Unterschied der Linien ohne Ausnahme, wenn $E =$ 59″ Par. und $S = 320^{mm}$. Die Verkleinerung des Netzhautbildes ist eine 399fache, die Breite des Netzhautbildes $= 0{,}0025^{mm}$. Dieser Werth erhebt sich, weil $\zeta = 0{,}0020^{mm}$, auf $0{,}0045^{mm}$ und ist demnach das Netzhautbild des erkennbaren Unterschiedes $=$ $0{,}00045^{mm}$. Die Hälfte dieses Werthes $= 0{,}000225^{mm} = d$. Der Durchmesser der Zapfen ist auch in diesem Falle 10mal grösser als der kleinste erkennbare Unterschied.

Versuch 59.

Angestellt von Herrn Referendar O. Volkmann mit Beibehaltung des angegebenen Experimentalverfahrens. Der Unterschied wird ohne Ausnahme erkannt, wenn $E = 149''$ Par. und $S = 321^{mm}$. Die Verkleinerung des Netzhautbildes ist eine 1050fache! Die Breite der 1^{mm} dicken Linie beträgt im Netzhautbilde $0{,}0009^{mm}$, und mit Rücksicht auf ζ (welches nach Vers. 15 mit $0{,}0012^{mm}$ zu veranschlagen) $0{,}0021^{mm}$. Das Netzhautbild des kleinsten erkennbaren Unterschiedes berechnet sich also auf $0{,}00021^{mm}$ und d auf $0{,}000105^{mm}$. Diese Grösse ist 22mal kleiner als der kleinste Durchmesser der Zapfen.

§ 54. Die Grössen der Empfindungskreise lassen sich aus den kleinsten erkennbaren Unterschieden noch in anderer Weise ableiten, und sind die Betrachtungen, welche sich bei dieser zweiten Methode geltend machen, sehr einfache.

Wenn man die Aufgabe verfolgt, eine Grösse g einer zweiten Grösse g' gleich zu machen und sich hierbei nur des Augenmaasses bedient, so wird dies kaum je vollständig gelingen. Fast ohne Ausnahme werden sich beim Nachmessen der beiden Grössen mehr oder weniger beträchtliche Unterschiede derselben herausstellen, und es ist einleuchtend, dass dies Unterschiede sind, welche das Auge nicht wahrzunehmen vermochte. Die bei den Ausgleichungsversuchen zu Tage kommenden bald grössern bald kleinern Unterschiede (mit andern Worten die Ausgleichungsfehler) belehren uns also über die Grenzen der verkennbaren Unterschiede.

Ich werde diese Unterschiede mit u' bezeichnen, während ich für die kleinsten erkennbaren Unterschiede den in § 52 eingeführten Buchstaben u festhalte.

Man sieht leicht, dass beide Grössen, sowohl u' als u, innerhalb gewisser Grenzen schwanken müssen; denn einen Unterschied, den man in gewissen Fällen erkennt, wird man unter andern Umständen nicht erkennen. Obschon also die verkennbaren Unterschiede im Allgemeinen kleiner sein werden als die kleinsten erkennbaren, so wird sich doch in grossen Beobachtungsreihen vielfältig das umgekehrte Verhältniss herausstellen. Hieraus ergiebt sich, dass die in den Ausgleichungsversuchen begangenen Maximalfehler auf u'-Werthe führen, welche nicht kleiner, sondern grösser sind als die u-Werthe im Minimum.

Wenn nun dem vorigen § zufolge anzunehmen ist, dass der Durchmesser eines Empfindungskreises (d) nie grösser sein könne als $\frac{u}{2}$, so ist auch anzunehmen, dass er nicht grösser sein könne als die Hälfte des Maximalfehlers, welcher in einer hinreichend ausgedehnten Reihe von Ausgleichungsversuchen als Grenzwerth vorkommt.

Die nachstehenden Ausgleichungsversuche sind mit einem Schraubenmikrometer ausgeführt worden, welcher sich von dem in § 5 beschriebenen nur dadurch unterscheidet, dass zwischen den beiden beweglichen Parallelfäden noch ein dritter, unbeweglicher Parallelfaden angebracht ist. Diese 3 Fäden begrenzen 2 Distanzen, und kann also, wenn die eine (Fechner's Normaldistanz) dem Beobachter gegeben ist, die zweite (Fechner's Fehldistanz) von demselben beliebig regulirt, und soweit es das Augenmaass gestattet, der erstern gleichgemacht werden. Die Dicke der Drahtfäden beträgt wiederum $0{,}05^{mm}$, auch ist die Feinheit der Messungen dieselbe geblieben.

Versuch 60.

Angestellt von Herrn stud. med. Geiss. Gegeben ist die Distanz $0{,}3^{mm}$. In 192 Versuchen beträgt das Maximum der Abweichung der Fehldistanz $0{,}012^{mm}$. Diese nur einmal vorkommende grösste Abweichung fiel auf den 24. Versuch, also in eine Zeit, wo das Auge noch wenig Uebung gewonnen. Die nächstgrösste, eben-

falls nur einmal vorkommende Abweichung beträgt 0,009^{mm}. In dem nun $S = 257^{mm}$, berechnet sich das Netzhautbild der Abweichung auf 0,00076^{mm}, ein Werth, welcher 6mal kleiner als d Durchmesser eines Zapfens nach KÖLLIKER, und 3mal kleiner dieser Durchmesser nach SCHULTZE ist.

Versuch 61.

Angestellt von demselben. Gegeben ist die Distanz 0,5 Das Maximum der Abweichung, welches in 192 Versuchen vo kommt, beträgt 0,009^{mm}. Da $S = 257^{mm}$, so berechnet sich Netzhautbild der Abweichung auf 0,00053^{mm}, ein Werth, welc 8mal kleiner als der Zapfendurchmesser nach KÖLLIKER und 4 kleiner als dieser Durchmesser nach SCHULTZE ist.

Ein Beobachtungsfehler, welcher in 192 Grössenschätzung nur einmal, und in weitern 192 Versuchen gar nicht vorkomm kann unmöglich aus einer constanten Fehlerquelle abgeleitet we den, also auch nicht aus den Grössenverhältnissen der sensib Elementartheile. Unzweifelhaft sind diese Theile, welche zu Aufbau unsrer Grössenanschauungen die Elemente liefern, fe genug um einen Grössenunterschied = 0,0007^{mm} im Netzhautbil mit Sicherheit zur Wahrnehmung zu bringen. Räumt man di ein, was sich nicht läugnen lässt, so kann der Durchmesser ein Empfindungskreises zwar ins Unbestimmte kleiner, nicht ab grösser sein als $^1/_8$ eines Zapfendurchmessers.

C. Schlüsse auf die Grösse der Elementartheile der Netzhaut aus der Erken barkeit sehr kleiner Figuren.

§ 55. Wenn durch musive Arbeiten, gleichviel welcher A also auch durch Sticken mit Wolle oder Perlen in Canevas, G genstände bildlich dargestellt werden, so hängt die Erkennba keit des Bildes von der relativen Kleinheit der musiven Elemen ab. Ist also die Netzhaut ein mosaikartig zusammengesetztes G webe, und bedingt jeder Empfindungskreis einen einfachen Ei druck, so wird die Erkennbarkeit eines Netzhautbildes dadur bedingt, dass für jeden der Vorstellung unentbehrlichen Punl desselben ein besonderer Empfindungskreis gegeben sei. Würde

wir eine Druckschrift mit Hülfe des Makroskops in dem Grade verkleinern, dass die Grösse der Buchstaben im Netzhautbilde den Dimensionen der sensibeln Elementartheile gliche, so könnte von einem Erkennen der Schrift natürlich nicht die Rede sein.

Ich bin auf den Gedanken gekommen, aus der Erkennbarkeit kleiner Figuren Schlüsse auf die erforderliche Feinheit der sensibeln Elementartheile zu machen und glaube, dass sich auf diesem Wege die Zulässigkeit der im Vorhergehenden gewonnenen Resultate nochmals prüfen lasse.

Die nächste und schwierigste Frage ist die: wieviel gesonderte Punkte gehören in einem gegebenen Falle zur Erkennbarkeit des Bildes? Dass diese Frage nicht schlechthin unbeantwortbar sei, beweisen die schon erwähnten Stickereien in Canevas. Die Zahl der Stiche, welche beispielsweise erforderlich ist, um einen Buchstaben leserlich herzustellen, bezeichnet die Minimalzahl der gesonderten Punkte, von welchen die Erkennbarkeit desselben abhängt. Natürlich wird das Netzhautbild desselben Buchstaben, wenn es erkennbar sein soll, nicht weniger Empfindungskreise in Anspruch nehmen, als die Stickerei Stiche.

Auf diese Betrachtungen fussend verfahre ich in folgender Weise. Wenn für eine gegebene Figur, beispielsweise für einen Kreis, die Zahl der Elemente gesucht wird, welche zum Erkennen derselben erforderlich ist, so zeichne ich dieselbe auf Curvenpapier*), zunächst sehr klein, dann immer grösser, und setze dies bis dahin fort, wo die Erkennbarkeit eintritt. In Betracht, dass die Quadrate des Papieres die Empfindungskreise vertreten, welche auch bei partieller Reizung in ihrer Totalität thätig sind, muss jedes Quadrat, welches von den Contouren der Figur geschnitten wird, vollständig geschwärzt werden.

Nun wird sich finden, wie gross die Figur eines Kreises sein müsse, um erkennbar zu sein, was eben so viel heisst als: es wird sich finden, wie viel dieselbe Figur Elementartheile der Netzhaut beanspruche um erkennbar zu sein. Um viele Worte zu spa-

---

*) Unter dem Namen Curvenpapier habe ich Papierbogen erhalten, welche mit einem doppelten Systeme wagerechter und senkrechter Linien, von überall gleichen Abständen bezogen sind.

ren veweise ich auf die beistehenden Figuren. Die Betrachtung von Fig. 6*a* und *b* lehrt ohne Weiteres, dass 4 und selbst 16 Elementartheile zur Darstellung eines Kreises nicht ausreichen. Aus

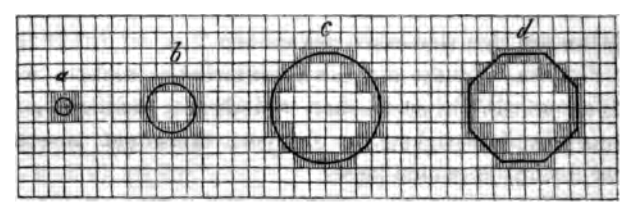


Fig. 6.

Fig. *c* ergiebt sich, dass mit Hülfe von 28 Elementen sich zwar etwas dem Kreise Aehnliches bilden lasse; gleichwohl muss selbst diese Zahl für ungenügend erachtet werden: Fig. *d* lehrt nämlich, dass ein Achteck genau denselben Eindruck erzeugen würde als der Kreis, und ist daher die Verwendung von 28 Elementartheilen zur Begründung des Unterschiedes beider Figuren nicht hinreichend.

§ 56. Indess muss man sich hüten, an die Erkennbarkeit der auf Curvenpapier gezeichneten Figuren falsche Ansprüche zu machen. Freilich werden solche aus Quadraten zusammengesetzte Figuren in der Nähe betrachtet wenig befriedigen. Die vor- und rückspringenden Ecken stören die Betrachtung, indem sie den Gang der Contoure zweifelhaft machen. Diese Uebelstände schwinden, wenn man die Bilder aus grösserer Entfernung oder mit Hülfe des Makroskops betrachtet, nicht selten vollständig, womit denn der Beweis gegeben ist, dass die Zahl der musiven Elemente, welche zur Darstellung der Figur benutzt wurde, allerdings ausreicht. Man muss nämlich bedenken, dass die von der Form und Grösse der Elementartheile abhängigen Unterbrechungen der Contoure nie störend wirken können, da die Form dieser Theile selbst keine erkennbare ist. Sobald also eine auf Curvenpapier gezeichnete Figur unter Umständen, wo die vorspringenden Ecken verschwinden, erkennbar ist, so kann darüber, dass die in Anwendung genommenen Elemente der Zahl nach reichen, kein Zweifel sein.

Die Elementartheile des Curvenpapiers sind viereckig, die der Netzhaut mehr scheibenförmig, vielleicht sechseckig. Aus die-

sem Unterschiede erwächst für die Versuche kein Uebelstand, da, wie eben bemerkt wurde, die Form der Nervenelemente nicht wahrnehmbar ist und die Form der Quadrate, aus welchen wir unsere Bilder zusammensetzen, bei hinreichender Verkleinerung ebenfalls der Wahrnehmung entzogen wird.

§ 57. Wie die Form der Elementartheile nicht in Betracht kommt, so ist auch die Art ihrer Anordnung gleichgültig. Diese Behauptung könnte Befremden erregen. Wenn auf unserm Curvenpapiere die Elementartheile in geradlinigen Reihen liegen, welche sich rechtwinklig schneiden, so werden sich Rechtecke mit Hülfe sehr weniger Quadrate darstellen lassen, dagegen spitze Winkel oder Kreise nur mit Hülfe vieler. Gesetzt ferner, die Elementartheile der Netzhaut wären in concentrischen Kreisen um die *fovea centralis* gelagert, so würde die Figur des Kreises durch eine sehr geringe Zahl derselben vermittelt werden können, während die Darstellung eines rechten Winkels weit mehrere erforderte. Hieraus ergiebt sich allerdings, dass die Anordnung der Elementartheile nicht gleichgültig sein könnte, wenn jeder derselben in unsern Raumanschauungen eine Verwerthung fände. Dies ist indess offenbar nicht der Fall, wie oben schon erwiesen wurde (vgl. § 52). Ich will noch hinzufügen, dass eine gerade Linie, welche man mit Hülfe des Makroskops bis an die Grenze des Sichtbaren verfeinert hat, bei jeder Lage, also gleichviel ob sie eine senkrechte, wagerechte oder schiefe Richtung einnimmt, absolut gerade, und nicht zickzackförmig erscheint, eine Erscheinung, die mit dem Wechsel der Linienrichtung nothwendig eintreten müsste, wenn die Disposition der musiven Elemente auf die Gestaltung unserer Anschauungen einen Einfluss hätte.*)

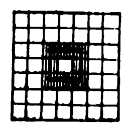
Die eben erwähnten Thatsachen influenziren einigermaassen die Verwerthung der von mir beabsichtigten Versuche. Darf angenommen werden, dass der Einfluss, welchen die Anordnung der Elementartheile auf die Configuration der betrachteten Objecte

---

*) Die Gleichgültigkeit der Disposition der sensibeln Elementartheile ist ein neuer Beweis, dass das Plus oder Minus eines Empfindungskreises bei den Raumanschauungen nicht in Betracht kommt. Jede Erklärung räumlicher Unterscheidungen, welche von dem Dasein oder Nichtdasein eines vereinzelten Empfindungselementes (ich behaupte selbst zweier) ausgeht, ist unhaltbar.

haben sollte, deshalb wegfalle, weil ein Elementartheil in seiner Vereinzelung keinen merkbaren Eindruck bewirkt, so ist einleuchtend, dass diejenigen auf Curvenpapier gezeichneten Figuren, deren Erkennbarkeit durch das Plus oder Minus eben eines musiven Elementes auf der einen oder andern Seite bedingt ist, zu den Schlüssen, welche wir aus ihnen ableiten wollten, nicht berechtigen. Unsere Absicht war nämlich, die Zahl der sensibeln Elementartheile, welche beispielsweise zur Herstellung eines erkennbaren Buchstaben gehören, nach der Zahl der kleinen Quadrate zu schätzen, welche eben dieser Buchstabe, wenn er auf Curvenpapier vorzeichnet wird, in Anspruch nimmt. Allein der Vortheil, welcher für den gezeichneten Buchstaben aus der Wirksamkeit eines am passenden Orte angebrachten vereinzelten Quadrates entspringt, ist für das Netzhautbild durch die Erregung eines einzelnen, wenn auch noch so passend gelegenen Empfindungskreises nicht erzielbar, und bedarf daher letzteres, um erkennbar zu sein, einer grössern Anzahl sensibler Elemente, als der gezeichnete Buchstabe Quadrate.

So lässt sich, wie Figur 7 zeigt, das Bild eines viereckigen Rahmens schon mit Hülfe von 9 Quadraten auf Curvenpapier so ausführen, dass für die Erkennbarkeit hinreichend gesorgt ist. Dagegen würden 9 Netzhautelemente zu diesem Zwecke nicht ausreichen. Denn der für die Erkennbarkeit eines Rahmens unentbehrliche offene Raum im Centrum ist durch die Benutzung eines einzigen Empfindungskreises nicht darstellbar. Der offene Raum des Rahmens ist von der Distanz der sich gegenüberliegenden Seiten abhängig, und wir haben oben gesehen, dass die Netzhautbilder zweier Linien nur dann gesondert erscheinen können, wenn mehrere von ihnen unberührte Empfindungskreise inzwischen liegen. Da wir Grössenunterschiede im Werthe von $2d$ noch nicht wahrzunehmen vermögen (§ 52), so ist vorauszusetzen, dass die Erkennbarkeit einer Distanz das Dasein von mindestens 3 Empfindungskreisen voraussetze, woraus dann weiter folgt, dass das Netzhautbild eines Rahmens die Verwendung von mindestens 25 Empfindungskreisen beanspruche.


Fig. 7.

Aus allem Vorausgehenden muss klar sein, dass die auf Cur-

venpapier gezeichneten Figuren nicht etwa aussagen, wieviel Empfindungskreise zur Herstellung eines erkennbaren Kreises, Buchstaben oder sonstigen Bildes genügen, sondern vielmehr lehren, welche Anzahl von Empfindungskreisen zu dieser Herstellung nicht ausreiche. Sie führen also nur auf Grenzwerthe.

§ 58. Die specielle Ausführung der in Frage stehenden Versuche wird sich am besten an einem bestimmten Beispiele erläutern. Gesetzt es handle sich um die Erkennbarkeit des kleinsten Kreises, so verkleinere ich mit Hülfe des Makroskops einen gegebenen Kreis bis dahin, wo er unkenntlich zu werden droht, und berechne den Durchmesser seines Netzhautbildes. Dividirt man den erhaltenen Werth mit dem Durchmesser der Zapfen, so erhält man die zur Darstellung des Kreisdurchmessers verwandte Zahl der Zapfen. Da nun letztere für sensible Elementartheile, oder nach Weber's Nomenclatur für Empfindungskreise gehalten werden, so fragt es sich, ob die durch den Versuch ermittelte Zahl, sie werde mit n bezeichnet, zur Herstellung eines erkennbaren Kreises ausreiche. Um hierüber Aufschluss zu erhalten, zeichne ich auf Curvenpapier einen Kreis, dessen Durchmesser n Quadrate deckt. Würde ein so verzeichneter Kreis noch nicht erkennbar sein, d. h. würde die zur Herstellung des Bildes verwandte Anzahl von Quadraten nicht ausreichen, so würde eine zur Herstellung des Netzhautbildes benutzte gleiche Anzahl von sensibeln Elementartheilen noch viel weniger ausreichen. Der Versuch würde demnach beweisen, dass die Erkennbarkeit des Kreises von sehr viel mehr distinct empfindenden Punkten abhänge, als im Umfange des Netzhautbildes Zapfen liegen, woraus weiter folgen würde, dass entweder die Zapfen keine Elementartheile sind, wofür sie von den Histologen gehalten werden, oder dass auch sensible Elementartheile verschiedene Raumanschauungen bedingen können, eine Möglichkeit, die Weber ausdrücklich in Abrede stellt.

Beim Aufzeichnen der Figuren auf Curvenpapier ist sorgfältig zu beachten, dass die relative Dicke der Linien zur Grösse des ganzen Bildes, also beispielsweise die Dicke der Grund- und Haarstriche eines Buchstaben im Verhältniss zu dessen Höhe und Breite naturgetreu wiedergegeben werden, da dies auf die Entscheidung der Frage, ob eine gewisse Anzahl musiver Elemente zur Darstel-

lung der Figur ausreiche, sehr wesentlichen Einfluss hat. Es versteht sich von selbst, dass hierbei auch die Grösse der Lichtzerstreuung, durch welche eine Verbreiterung der Linien bewirkt wird, in Frage komme. Wir wissen, dass bei den kleinsten Netzhautbildern (und mit solchen haben wir hier zu thun) die Irradiation so bedeutend ist, dass der Durchmesser der Zerstreuungskreise dem des Bildes gleichkommt, ja in vielen Fällen ihn um das Doppelte oder Dreifache übertrifft (vgl. § 16). Man muss also beim Aufzeichnen der Figuren entweder die Linien ausdrücklich um das Entsprechende verdicken, oder man muss, wenn man das unterlässt, beachten, dass eine Figur, welche mit *n* Elementen auf dem Curvenpapier in erkennbarer Weise herstellbar ist, mit eben so viel Netzhautelementen in einem irradiirenden Auge nicht herstellbar sein würde. Ich will nun einige Versuche vorlegen, deren Resultate, wie mich dünkt, unzweifelhaft sind.

Versuch 62.

Referendar VOLKMANN betrachtet durch das Makroskop einen Kreis von 3,7^{mm} Durchmesser und 0,4^{mm} Liniendicke. Er erkennt denselben, wenn *E* (Abstand des Objectes von der Linse) = 47,5″ Par., und *S* (Sehweite) = 315^{mm}. Der Diameter des Netzhautbildes berechnet sich unter diesen Umständen zu 0,0119^{mm} und würde nach KÖLLIKER 2 Zapfen, nach SCHULTZE deren 4 decken. Zeichnungen auf Curvenpapier beweisen, dass mit 4 Quadraten auf den Diameter die Form des Kreises nicht herstellbar ist, und sind daher 4 Empfindungskreise zum Erkennen der Kreisform noch viel weniger ausreichend. Man wird unbedenklich annehmen können, dass die Zapfen, um als Raumelemente fungiren zu können, wenigstens 4mal kleiner sein müssten.

Versuch 63.

Als kleinsten Kreis benutze ich das mikroskopische Bild eines menschlichen Blutkörperchens. Eine grosse Menge solcher Körperchen befand sich im getrockneten Zustande zwischen zwei Glasplättchen. Sie zeigten die kreisförmigen Contoure in grosser Schärfe und hatten einen mittlern Durchmesser von 0,0079^{mm}.

Die mikroskopischen Beobachtungen wurden auf hiesiger Anatomie bei 21facher Vergrösserung auf 8 Zoll Sehweite ausgeführt. Die Herren WELCKER und SCHWEIGGER-SEIDEL erkannten die kreisförmigen Umrisse der Blutzellen mit grosser Leichtigkeit, ich selbst nur mit Mühe und an den wenigsten Exemplaren, also wahrscheinlich nur an den grösseren. Das Netzhautbild hat unter diesen Umständen einen Durchmesser von 0,0111^{mm}, und berechtigt demnach der Versuch zu denselben Schlüssen wie der vorige. Auch in diesem Falle würde der Durchmesser des Netzhautbildes nur 2, höchstens 4 Zapfen decken, und die beistehende Figur zeigt, das selbst in einem Stickmuster 4 Stiche auf den Diameter nicht ausreichen die Kreisfigur herzustellen.

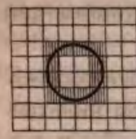


Fig. 8.

Versuch 64.

Sehr geeignet zu Versuchen über die Erkennbarkeit kleiner Figuren sind Schriftproben. Ich benutze: *a selection of modern printing types from the specimen book of Wilsons and Sinclair, Edinburgh* 1833, und zwar die Probe *diamond* Nr. 1.

Die Höhe der kleinen Buchstaben *a c e* u. s. w. beträgt 0,75^{mm}, die Dicke der Grundstriche schätze ich auf $^1/_6$ der Höhe, also etwa 0,12^{mm}.

Diese Schrift erkenne ich selbst auf 430^{mm} Entfernung, mehrere meiner Schüler und Freunde auf 500 - 600^{mm}, und einer meiner Söhne, E. VOLKMANN, bei einer Sehweite von 700^{mm}.

Ich zweifle, dass irgend einer dieser Fälle mit Netzhautelementen von der Grösse der Zapfen herstellbar sein würde, was aber den letzten derselben anlangt, so beweist er die unzulängliche Feinheit der Zapfen mit grösster Bestimmtheit.

Die Höhe des Buchstaben im Netzhautbilde berechnet sich auf 0,0159^{mm} und deckt also in dieser Richtung nur 3 Zapfen, wenn wir KÖLLIKER's Messungen zu Grunde legen, oder höchstens 6 Zapfen, wenn wir uns an die Angabe von SCHULTZE halten. Die beistehende Figur 9 zeigt, dass 6 Elemente nicht ausreichen, den Buchstaben *e* erkennbar herzustellen, obschon derselbe sich auf dem Curvenpa-



Fig. 9.

pier unter ungleich günstigern Bedingungen befindet als auf der Netzhaut. Denn einerseits wirken in der Zeichnung die einzelnen Quadrate, während einzelne Empfindungskreise nicht wirken, und bleibt daher die Oeffnung im Kopfe des *e* zwar in der Zeichnung, aber nicht im Netzhautbilde erkennbar, und andrerseits ist bei der Zeichnung des Buchstaben die Verbreiterung der Linien durch die Irradiation vernachlässigt, durch welche die Erkennbarkeit nochmals beeinträchtigt wird.

Die Figur beweist also nicht nur, dass die Zahl der disponibeln Elementartheile zur Herstellung eines erkennbaren Buchstaben nicht ausreiche, sondern sie beweist auch, dass das Deficit ein sehr grosses sein müsse.

Versuch 65.

Herr Dr. Schweigger-Seidel betrachtete durch das Makroskop 2 Linien von je 10mm Länge, deren eine senkrecht, die andre unter 6° geneigt war. Er unterschied die Richtung der Linien mit Sicherheit, wenn $E = 76''$ Par. und $S = 322^{mm}$ war. Unter diesen Umständen berechnet sich die Länge des Netzhautbildes auf 0,0190mm, und würde also nach Kölliker 4 Zapfen, und selbst nach Schultze nur deren 8 decken.

Eine so geringe Anzahl sensibler Elementartheile ist zur Unterscheidung einer schiefen Linie von so geringer Neigung nicht ausreichend. Die nachstehende Figur macht dies anschaulich. Hat das Netzhautbild der Geraden eine Lage wie bei *a*, so liegen die in Erregung gesetzten Empfindungskreise genau in der Richtung einer Senkrechten; hat es dagegen eine Lage wie bei *b*, so liegen die fungirenden Elementartheile zwar nicht in der Richtung einer senkrechten, sondern einer gebrochenen Linie; allein dieser Unterschied in der Lage wird für die Empfindung verloren gehen, da, wie nun hinreichend erwiesen, mit dem Plus oder Minus nur eines Empfindungskreises der Gang der Contoure keine merkbare Veränderung erfährt.

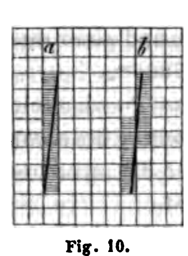


Fig. 10.

D. Schlüsse auf die Grösse der Elementartheile der Netzhaut aus der Grösse der kleinsten erkennbaren Bewegungen.

§ 59. Die Bewegung eines Gegenstandes wird dem Auge dadurch bemerkbar, dass das Netzhautbildchen im Laufe der Zeit seine Lage ändert und also von gewissen sensibeln Elementartheilen auf andre übergeht. Würde die Bewegung des Netzhautbildchens sich auf das Gebiet eines Empfindungskreises beschränken, so würde die Wahrnehmung derselben nicht möglich sein, denn ein Empfindungskreis ist, der Definition nach, das materielle Substrat einer Raumeinheit, und also unfähig zu irgend welcher Differenzirung des Raumes Veranlassung zu geben.

Man sieht nun leicht, dass die Kleinheit der wahrnehmbaren Bewegungen Rückschlüsse auf die Kleinheit der sensibeln Elementarorgane gestatte. Eine genauere Untersuchung bedarf die Frage, ob derartige Folgerungen zu irgend welchen Maassbestimmungen der Elementartheile verwendbar seien. Wenn die Kreise der Figur 11 Empfindungskreise vorstellen, so schiene die Wahrnehmbarkeit der Empfindung gesichert, wenn ein Netzhautbildchen c von der Grenze des einen Kreises auf a' an der Grenze des benachbarten Kreises überträte. Der Raum zwischen c und a' würde aber, da die differenten Kreise sich berühren, ein verschwindend kleiner sein können, und möglicher Weise nur einem überaus kleinen Bruchtheile vom Durchmesser des Kreises entsprechen.

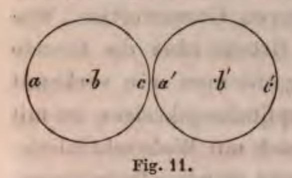


Fig. 11.

Andrerseits würde die Bewegung des Netzhautbildchens von a bis a', obschon sie dem ganzen Durchmesser des Empfindungskreises gliche, durchaus keine andre Empfindung begründen als die von c nach a', vielmehr würde die wahrgenommene Bewegung in dem einen wie im andern Falle die kleinste wahrnehmbare sein.

Hiernach schiene die Bemessung der kleinsten erkennbaren Bewegungen für die Beurtheilung der sensibeln Elementartheile und ihre Dimensionen unerspriesslich; gleichwohl dürfte sich bei näherer Erwägung das Urtheil anders gestalten.

Die kleinsten erkennbaren Bewegungen können, wie schon die Figur lehrt, sehr verschiedene Werthe haben, denn die grosse

Bewegung von a nach a' ist in demselben Sinne eine kleinste erkennbare wie die kleine Bewegung von c nach a'. Ein wichtiger Unterschied beider besteht aber darin, dass die grössere der beiden Bewegungen viel mehr Chancen der Erkennbarkeit für sich hat als die kleinere. Eine Bewegung, deren Grösse dem Durchmesser des Empfindungskreises gleichkäme, würde nach den Voraussetzungen, von denen wir ausgehen, diese Chancen im höchsten Grade besitzen, jedoch würde nur eine Bewegung, deren Grösse jenen Durchmesser in etwas überträfe, die Verkennbarkeit theoretisch ausschliessen.

Hiermit ist die Möglichkeit zu brauchbaren Versuchen gegeben. Man sucht auf experimentellem Wege eine Bewegung, welche nie verkannt wird, und darf annehmen, dass der Durchmesser des Empfindungskreises nicht grösser sei als diese Bewegung. Die Versuche führen also auf die Grenzwerthe der fraglichen Durchmesser, und zwar auf die oberen Grenzwerthe. Wie weit eine auf diesem Wege ermittelte Grösse über die Grenze hinausgehe, d. h. wie weit eine Bewegung, die man nie verkennt grösser sei als der Durchmesser eines Empfindungskreises, ist mit Bestimmtheit nicht zu sagen; nur lässt sich mit Wahrscheinlichkeit annehmen, dass sie viel grösser sein werde. Denn einerseits sind wir von der unerwiesenen Voraussetzung ausgegangen, dass die Versetzung eines Netzhautbildes von einem Empfindungskreise auf seinen nächsten Nachbar zur Herstellung einer Bewegungsempfindung ausreiche, andrerseits müssen in Versuchen, welche die stattfindende Bewegung nie verkennen lassen, die Bewegungen grösser sein als theoretisch nothwendig, weil alle ungünstigen Umstände, welche die Wahrnehmung behindern, mit übertragen werden müssen.

§ 60. Meine Versuche über die kleinsten wahrnehmbaren Bewegungen sind mit Hülfe eines Pendels ausgeführt. Ich beobachte einen Punkt der Pendelstange, welcher nahe am Drehpunkte nur äusserst kleine Excursionen macht. Die Länge des Pendels beträgt 600^{mm}, die Entfernung des fixirten Punktes vom Drehpunkte 20^{mm}, und ist demnach die beobachtete Bewegung 30mal kleiner als die Excursion der untern Pendelspitze, deren Grösse an einem graduirten Bogen ablesbar ist. Am oberen Ende des Pendels befindet sich ein Rahmen, über welchen ein feiner Draht in der

Richtung der Pendelaxe ausgespannt ist. Dieser Draht ist es, welcher in den Versuchen fixirt wird. Die Pendelstange ist in ihrer ganzen Länge durch eine Metallplatte verdeckt, und bleibt nur der feine Draht, durch ein kleines Fenster, von 5^{mm} Höhe und Breite, dem Auge wahrnehmbar. Die Entfernung des untern Randes der kleinen Oeffnung vom Drehpunkte beträgt aber 20^{mm}, und bezeichnet also dem Beobachter die Lage des Fixirpunktes. Die Stellung des Apparates wird so gewählt, dass sich der Draht als ein dunkler Faden gegen den hellen Himmel absetzt.

Soll nun eine Versuchsreihe ausgeführt werden, so nähert sich der Beobachter aus einer Entfernung, bei welcher der Draht noch nicht erkennbar ist, dem Apparate so lange, bis er die Bewegung mit Sicherheit erkennt. Um sich von der Richtigkeit der Beobachtungen zu überzeugen, markirt er die Pendelschwankungen mit den Worten: links, rechts, und bezeichnet hiermit nicht nur den Takt sondern auch die Richtung der Bewegung. Ein Assistent, welcher sich auf der hinteren, ihm selbst nicht versteckten Seite des Pendels befindet, controlirt die Richtigkeit der Angaben und misst die Grösse der Excursionen. Will man die Vorsicht noch weiter treiben, so sucht man den Beobachter absichtlich irre zu führen. Ich habe dies dadurch erreicht, dass ich ohne Mitwissen des Beobachters die Schwingungsdauer des Pendels veränderte, oder die Bewegung vollständig unterdrückte.

Ich will noch bemerken, dass die Feinheit des Erkennens der kleinen Pendelschwankungen von der Dicke des fixirten Drahtes, von der Grösse des Fensterchens, durch welches man den Draht betrachtet, von der Geschwindigkeit der Pendelschwankungen, bei weitem am meisten aber von den Beleuchtungsverhältnissen abhängt. Der Einfluss aller dieser Umstände zusammengenommen ist ein ausserordentlich grosser. Hiernach kann kein Zweifel sein, dass die im Nachstehenden gegebenen Maasse der kleinsten erkennbaren Bewegungen im Allgemeinen zu grosse sein müssen, denn die Herbeiführung der für den Versuch günstigsten Umstände war schon wegen der verschiedenen Bedürfnisse der Beobachter äusserst schwierig, und mit Rücksicht auf die durch den Bau des Instrumentes gegebenen constanten Verhältnisse unmöglich.

Versuch 66.

Ich bezeichne in nachstehender Tabelle die Sehweite, unter welcher der Pendel betrachtet wurde, mit *S*, die Schwingungsamplitude mit *A*, die Grösse der Netzhautstrecke, über welche das Bild des Drahtes hinstreifte, mit *N*.

Beobachter	*S*	*A*	*N*
Referent	600mm	4mm	0,0033mm
O. Volkmann	1300	4	0,0014
E. Volkmann	1700	5	0,0015
Dr. Schweigger	1500	2	0,0007
Dr. Thümmel	1900	3	0,0008
stud. Nette	1900	3	0,0008
Dr. Appel	1300	2	0,0008

Die vorstehenden Versuche haben, im Gegensatz zu denen über die kleinsten erkennbaren Distanzen, den Vorzug, keiner Correctur zu bedürfen. Der Einfluss der Irradiation kommt hier nicht in Frage. Nun ist es wichtig, dass die Pendelversuche auf eben so kleine Empfindungskreise hinweisen als die Distanzversuche. Der Durchmesser der kleinsten bisher wahrgenommenen Zapfen ist immer noch dreimal grösser als der Raum, welchen das Netzhautbildchen bei den kleinsten wahrnehmbaren Bewegungen zu durchwandern hat.

Rückblick.

§ 61. Ich habe im Vorhergehenden eine grosse Menge von Beobachtungen und Versuchen vorgelegt, welche sämmtlich beweisen, dass die Grössen der Netzhauttheilchen, welche zur Perception einer räumlichen Differenz genügen, sehr viel kleiner als die sensibeln Elementartheile des gelben Fleckes, d. h. viel kleiner als die Zapfen sind. Steht diese Thatsache fest, wie bei der grossen Uebereinstimmung der Versuche, welche von so vielen Personen nach den verschiedensten Methoden angestellt wurden, schwerlich in Abrede gestellt werden kann, so liegt ein Widerspruch zwischen der Lehre Weber's und der gegenwärtigen Histologie vor.

Freilich haben sehr achtungswerthe Forscher gerade die Uebereinstimmung beider hervorgehoben, wie beispielsweise

HEINRICH MÜLLER.*) Er macht darauf aufmerksam, dass die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen der Netzhautbildchen in Augen von mässiger Schärfe 0,002 bis 0,004‴, unter günstigen Verhältnissen wenig über 0,002‴ betragen, und dass der Querschnitt eines Zapfens im gelben Fleck ebenfalls etwa 0,002‴ messe. Ein paar von WEBER und VALENTIN bekannt gemachte Fälle, in welchen die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen merklich unter 0,002‴ blieben, glaubt er deshalb unberücksichtigt lassen zu dürfen, weil sie mit linienförmigen Objecten angestellt worden waren, welche seiner Ansicht nach keinen ganz gültigen Schluss auf die vorlieliegende Frage zulassen.

Ich kann nun zunächst nicht zugeben, dass Versuche über die kleinsten erkennbaren Distanzen um deswillen, weil sie mit Hülfe von Linien angestellt wurden, keinen gültigen Schluss zuliessen. Die kleinste erkennbare Distanz, auf deren Bestimmung es ankommt, ist offenbar die kleinste unter allen Umständen, die günstigsten für das Erkennen mit eingeschlossen. Denn der Grundsatz WEBER's, dass zwei gereizte Empfindungskreise den Eindruck einer räumlichen Distanz nur dann begründen können, wenn sie mindestens noch einen Empfindungskreis zwischen sich haben, ist ein durchaus allgemeiner, und basirt auf physiologischen Gründen, bei welchen die Gestalt der betrachteten Objecte nicht in Frage kommt. Wenn bei Beobachtung zweier Linien die kleinsten erkennbaren Distanzen kleiner ausfallen als bei Beobachtung von Punkten, was wirklich der Fall ist, so hat man sich beim Aufsuchen der kleinsten erkennbaren Distanzen offenbar nur an Versuche mit Linien und nicht an Versuche mit Punkten zu halten, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil das, was man sucht, sich in Versuchen mit Punkten nicht finden lässt.

H. MÜLLER hat also mit Unrecht die Fälle bei Seite geschoben, in welchen die kleinsten erkennbaren Distanzen merklich kleiner als der Durchmesser der Zapfen waren; doch ist dies nur Nebensache. Ungleich wichtiger ist, dass er die Werthe der kleinsten erkennbaren Distanzen viel zu hoch ansetzt. Die Versuche, auf welche sich MÜLLER beruft, sind unstreitig nicht von Personen angestellt worden, welche sich im Erkennen kleinster Distanzen

*) Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. 1857. S. 104.

methodisch geübt hatten, ein Umstand der stark ins Gewicht fällt, da solche Uebungen, wie oben gezeigt wurde, die in Frage stehenden Distanzen auffallend verkleinern. Eben so wenig ist der Einfluss der Irradiation berücksichtigt, durch welchen die Distanzen der Netzhautbilder nochmals um das Doppelte und Dreifache verkleinert werden.

§ 62. Auch Bergmann hat sich in einer an interessanten Beobachtungen und scharfsinnigen Betrachtungen reichen Abhandlung dahin ausgesprochen, dass die Lehre von den Empfindungskreisen mit dem Baue der Netzhaut übereinstimme.

Er bemerkt, dass eine lithographirte Gitterzeichnung, deren schwarze Striche und weisse Zwischenräume ein Millimeter breit sind, in einer Entfernung von 5,5 Metern oder mehr zu Augentäuschungen Anlass gebe, welche mit Rücksicht auf die Beständigkeit der Erscheinungen wohl nur auf optischen Gründen beruhen können.

Gute Augen, denn nur solche eignen sich zur Anstellung des Versuches, unterscheiden in dieser ansehnlichen Sehweite zwar den Gegensatz der weissen und schwarzen Striche, täuschen sich aber über die Richtung derselben in ganz constanter Weise. Der gewöhnlichste (aber doch nicht ausnahmslose) Fall ist der, dass die scheinbare Richtung der Striche sich mit der wirklichen rechtwinklig kreuzt. Der Verfasser beweist nun, dass dieses eigenthümliche Phänomen unter folgenden Annahmen optisch erklärbar sei:

1. Annahme: Wenn ein sensibler Elementartheil gleichzeitig von einem weissen und schwarzen Bilde getroffen wird, so entsteht eine unterschiedslose Empfindung von Grau, dessen Lichtton von der Menge des dem Weiss beigemischten Schwarz abhängt.

2. Annahme: Die Elementartheile der *fovea centralis* bestehen aus gleich grossen Sechsecken, welche nach dem Princip der höchsten Raumersparniss wie die Zellen einer Honigwabe in geraden Reihen neben einander liegen.

3. Annahme: Die Netzhautbilder der Striche haben eine Breite, welche dem halben Durchmesser eines sensibeln Elementes entspricht oder doch nahe kommt.

Bergmann fand auf dem Wege der Rechnung, dass die Breiten

der Netzhautbilder in den Fällen, wo die mehrerwähnten Täuschungen eintreten, zwischen 0,0019 und 0,0028^{mm} schwankten, und urgirt, dass der Durchmesser der Zapfen, seinen Messungen zufolge, approximativ das Doppelte, nämlich 0,0045^{mm} betrage. Er hält daher für wahrscheinlich, dass das von ihm entdeckte Phänomen eben darin seinen Grund habe, dass die Netzhautbilder der Striche dem halben Durchmesser eines sensibeln Elementes nahe kommen, und schliesst mit der Bemerkung, dass die Zapfen der *fovea centralis*, in wiefern ihr Diameter der doppelten Dicke der in Frage kommenden Netzhautbilder gleiche, den Ansprüchen, welche man an die sensibeln Elementartheile zu machen habe, allerdings genügen.

Irre ich nicht, so stehen dieser Auffassung die erheblichsten empirischen Bedenken entgegen. Bergmann hat die Grösse der Netzhautbilder, auf deren Verhältniss zu den Elementartheilen Alles ankommt, berechnet, ohne auf die Irradiation Rücksicht zu nehmen, durch deren Einfluss jene Bilder sich merklich vergrössern. Ich habe in einem frühern Abschnitte gezeigt, dass der Durchmesser des Irradiationskreises umgekehrt wie die Grösse der Netzhautbilder wachse, und hat sich für mein Auge ergeben, dass zu Netzhautbildern von 0,0027^{mm} Durchmesser (das Maximum aus Bergmann's Versuchsreihe) ein Irradiationskreis von etwa 0,0050^{mm} gehöre. Halten wir uns, bis auf Weiteres, an die freilich nur für mein Auge constatirten Verhältnisse, so würden die Netzhautbilder der von Bergmann betrachteten Striche auf 0,0069 und 0,0078^{mm} anwachsen, und wären nun, statt halb so dick, sehr viel dicker als die von dem Verfasser mit 0,0045^{mm} notirten Zapfen.

Schon dieser eine Umstand dürfte genügen, die Unzulänglichkeit der Bergmann'schen Betrachtung ans Licht zu stellen, indess entsteht aus den Messungen der Zapfen eine zweite Schwierigkeit. M. Schultze bestätigt eine schon vor Jahren von Burow gemachte Angabe, dass die Elementartheile der Netzhaut gegen das Centrum des gelben Fleckes immer feiner werden. Nach den Beobachtungen dieses ausgezeichneten Mikroskopikers, welche durch die neusten Arbeiten H. Müller's bestätigt werden, passen die von Kölliker gegebenen Maasse zwar zu der grossen Mehrzahl der Netzhautzapfen, nicht aber auf die der *fovea centralis*, welche um

das Doppelte kleinere Durchmesser haben. Kurz es ist sehr wahrscheinlich, dass die Durchmesser der Zapfen, welche in der *fovea centralis* liegen, nicht mit Bergmann zu 0,0045^{mm}, sondern mit Schultze zu 0,0022 bis 0,0025^{mm} veranschlagt werden müssen.

Hiernach waren dieselben Bilder, welchen der Hypothese zufolge der halbe Durchmesser einer Seheinheit zukommt, 3mal grösser als der Durchmesser eines Zapfens, und wären demnach letztere, wenn aus Bergmann's Versuche überhaupt etwas gefolgert werden soll, unstreitig nicht die Seheinheiten.

§ 63. Wenn ich auf meine eigenen, im Vorhergehenden beschriebenen Versuche zurückblicke, so scheint mir keine andere Wahl übrig, als entweder einen allgemein anerkannten Grundsatz der Nervenphysiologie fallen zu lassen, oder eine bisher unbezweifelte Angabe der Histologie für irrig zu halten. Man muss entweder die Nothwendigkeit der Verschmelzung zweier Reize, welche eine und dieselbe Nervenfaser gleichzeitig treffen, in Abrede stellen, oder muss die mikroskopischen Bilder, welche die Zapfen und die von ihnen ausgehenden Fäden als einfache Gebilde darstellen, für Trugbilder erklären.

Es ist wahrscheinlich, dass die Mehrzahl der Physiologen das letztere vorziehen werde, und auch ich neige nach dieser Seite, obschon ich ein entscheidendes Urtheil in dieser Angelegenheit nicht wagen möchte.

Freilich scheinen ziemlich Viele den Satz: dass zwei Reize, welche gleichzeitig eine Faser treffen, in einander verschmelzen, für schlechthin unangreifbar zu halten; ich gestehe, dass ich diese Ansicht nicht theile.

Die Behauptung, dass der Satz, um welchen es sich handelt, ein nothwendiger sei, includirt die zweite, dass er aus einem Naturgesetze sich ableiten lasse. Man darf von vorn herein zweifeln, dass die Vorgänge der Nervenleitung genau genug bekannt sein sollten, um eine solche Ableitung möglich zu machen. Die Betrachtungen, von welchen man ausging, waren im Wesentlichen, dünkt mich, folgende:

Die Nervenleitung, von der physikalischen Seite genommen, ist ein Bewegungsvorgang. Eine Bewegung, welche von dem Objecte auf das peripherische Ende der Nervenfaser übertragen wird, bedingt den Reiz, eine Bewegung (wahrscheinlich oscillatorischer

Art), welche von dem peripherischen Faserende bis zum centralen fortschreitet, bedingt die Leitung, und eine Bewegung endlich, welche von dem centralen Nervenende auf einen Hirnpunkt übertragen wird, bedingt die Empfindung.

Nun kann die Bewegung immer nur eine sein, gleichviel ob sie von einem oder von zwei gleichzeitigen Stössen ausgeht, denn im letzteren Falle würden die Bewegungen sich doch nur summiren. Mithin würde die auf die Bewegung des Hirnpunktes basirte Empfindung auch nur eine einfache, obschon durch die Verschmelzung zweier Bewegungen eigenthümlich qualificirte sein.

Zugestanden dass der Empfindung ein mechanischer Bewegungsvorgang, wie der angegebene, zu Grunde liege, was jedenfalls nur als Sache der Wahrscheinlichkeit gelten kann, so wäre das Raisonnement bezüglich der nothwendigen Einheit der Bewegung, und demgemäss der Empfindung, doch nur zwingend, wenn die Faser eine Linie und der Hirnpunkt ein Punkt im mathematischen Sinne wäre. Da aber die leitende Faser und das empfindende Hirntheilchen, wenn auch nicht zusammengesetzte Organe, doch mindestens histologische Elementartheile sein müssen, so erscheint die Behauptung, dass die e i n f a c h e Faser nur e i n e Bewegung gestatte, nicht als eine nothwendige. Wo will man den Beweis her nehmen, dass zwischen zwei organischen Ortschaften, d. h. in der Bahn einer Faser, so zu sagen nur ein Telegraphendraht Platz finde?

Offenbar hängt der Satz, dass zwei Reize, welche gleichzeitig eine Faser treffen, nothwendig verschmelzen, mit der Lehre von der isolirten Nervenleitung zusammen, und beruht auf denselben empirischen Unterlagen wie diese. Man betrachtete den Nichtzusammenhang der Fasern im Laufe der Nerven als das Mittel, die der Leitung dienenden Bewegungsvorgänge zu sondern, und machte also die anatomische Isolation zur Ursache der physiologischen. Indem man aber die Dissociation der Fasern für das Mittel hielt, die von verschiedenen und gleichzeitigen Reizen veranlassten Bewegungsvorgänge aus einander zu halten, war begreiflich, dass man die Möglichkeit einer isolirten Leitung gleichzeitiger Reize in einer einfachen Faser in Abrede stellte.

Allen diesen Betrachtungen ist durch die Entdeckung der multipolaren Ganglien im Rückenmarke der Boden entzogen.

Scarpa und seine Nachfolger hatten nur bewiesen, dass die Fasern, soweit sie in den Nervensträngen verlaufen, der Anastomosen entbehren. Dieser Beweis genügt nicht mehr. Soll die anatomische Isolation als Grund der physiologischen gelten, so muss sich zeigen lassen, dass die Fasern in ihrem ganzen Verlaufe, also auch im Rückenmark isolirt bleiben. Dem entgegen beweisen die Untersuchungen von Bidder, Schröder van der Kolk und vielen Andern, dass die Rückenmarksfasern durch die Ganglienkugeln an unzähligen Punkten in Verbindung treten.

Da also höchst zweifelhaft ist, ob die anatomische Sonderung der Fasern das Mittel der physiologischen Isolation abgiebt, kann eine Betrachtung wie die: zwei Reize, welche eine Faser treffen, verschmelzen, weil das für die Isolation erforderliche Mittel fehlt, unmöglich von Gewicht sein. Indem wir mit den physikalischen Bedingungen der Isolation überhaupt ganz unbekannt sind, scheint jedes Urtheil darüber, was die Isolation hindere, ein vorzeitiges.

Ich komme zum Schlusse. Wenn die von mir vorgelegten Versuche beweisen, dass Reize, welche in den Umkreis eines Zapfens fallen, unterschieden werden, so darf man hieraus nicht ohne Weiteres folgern, dass die Histologen die Natur jener Theile, welche sie für elementare hielten, verkannten. Nicht blos ein Irrthum der Histologen, sondern auch ein Irrthum der Physiologen ist denkbar, denn letztere könnten die Breite der Functionen, deren eine Faser fähig ist, unterschätzt haben. Die Zellen beweisen, dass histologische Elementartheile weder auf Homogeneität des Stoffes noch Unität der Function beschränkt zu sein brauchen. Ob nun die Faser ein überall sich selbst Gleiches und somit zu functionellen Differenzirungen Unfähiges sei, darüber sind die Erfahrungen nicht als abgeschlossen zu betrachten.

IV. Ob die kleinsten relativen Grössenunterschiede, welche wir wahrzunehmen im Stande sind, einen constanten Werth haben.

§ 64. Für alle intensiven Reize scheint das Gesetz zu gelten, dass der Empfindungsunterschied sich gleich bleibt, wenn das Verhältniss der Reize sich gleich bleibt. Nach E. H. WEBER soll dieses Gesetz auch für extensive Reize gelten, so dass der kleinste wahrnehmbare Grössenunterschied durch ein constantes Verhältniss der beiden in Vergleich gestellten Dimensionen gegeben sein würde.

FECHNER*) hat die Frage, ob das für intensive Reize geltende Gesetz auch auf extensive auszudehnen sei, bereits einer ausführlichen Untersuchung unterworfen, und nachgewiesen, dass im Bereiche des Tastsinnes wenigstens diese Frage verneint werden müsse. Dagegen entsprachen Versuche mit Hülfe des Augenmaasses dem WEBER'schen Gesetze fast immer. Nur wenn die in Vergleich gestellten Dimensionen überaus klein waren, traten merkliche Ausnahmen ein, Ausnahmen, welche durch eine gewisse Gesetzlichkeit ihres Verhaltens auf eine neue, vor der Hand unbekannte Ursache der Erscheinungen hindeuteten.

Obschon ich die mancherlei Schwierigkeiten, welche mit der eben erwähnten Frage zusammenhängen, nicht vollständig zu lösen im Stande bin, so habe ich mich doch auf FECHNER's Rath entschlossen, ein zur Sache gehöriges und mit grossem Zeitaufwande gesammeltes Material im Folgenden zusammenzustellen. In der That eröffnet dasselbe, schon wie es jetzt vorliegt, manche neue Gesichtspunkte, und jedenfalls sind die von mir angestellten Versuche als Vorarbeiten zu betrachten, ohne welche die Beziehung der extensiven Reize zu den extensiven Empfindungen sich in keinem Falle würde ergründen lassen.

§ 65. Die Versuche sind zunächst nach der Methode der mittleren Fehler angestellt worden. Wenn eine bestimmte Distanz (FECHNER's Normaldistanz) gegeben ist, so sucht man ihr eine zweite (FECHNER's Fehldistanz) gleich zu machen. Hierbei wird

*) Elemente der Psychophysik II. 343.

man im Allgemeinen einen gewissen Fehler begehen, welcher davon abhängig ist, dass Grössenunterschiede nur bis zu einer gewissen Grenze der Kleinheit wahrnehmbar sind. Um die Bedeutung dieser Fehler richtig aufzufassen, muss man bedenken, dass ein Fehler, welchen man bei solchen Ausgleichungsversuchen macht, die Grösse eines unbemerkt gebliebenen Unterschiedes darstellt. Bedenkt man nun, wie die Aufgabe der Ausgleichung dadurch gelöst wird, dass man einen noch merkbaren Unterschied so lange verkleinert, bis er ins Unmerkliche übergeht, so ist einleuchtend, dass bei vorsichtigem Verfahren der verkennbare Unterschied nur um ein Minimum kleiner sein kann als der eben noch erkennbare. Wenn also die Werthe der kleinsten erkennbaren Grössenunterschiede nach dem Weber'schen Gesetze relative sind, d. h. mit den verglichenen Dimensionen und wie diese wachsen, so müssen die kleinsten verkennbaren Unterschiede sich entsprechend verhalten. Sie müssen ebenfalls mit den verglichenen Dimensionen und approximativ wie diese wachsen.

Aus alle dem ergiebt sich, dass man die Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes nicht blos an den eben noch erkennbaren, sondern auch an den eben erst verkennbaren Grössenunterschieden, das will sagen, an den in den Ausgleichungsversuchen begangenen Fehlern prüfen könne.

Wiederholt man die Versuche mit derselben Normaldistanz hinreichend oft, so erhält man durch Division der Fehlersumme mit der Zahl der Beobachtungen einen Fehler, welcher dem mittleren Werthe des kleinsten erkennbaren Unterschiedes proportional, und dem mittleren Werthe des eben noch verkennbaren Unterschiedes gleich ist.

Was die experimentellen Maassnahmen betrifft, so benutze ich zu den Ausgleichungen 3 parallele, meist senkrechte Fäden, deren gegenseitige Entfernungen sich beliebig verändern lassen. Nicht gleichgültig ist, ob die Normaldistanz zur linken oder rechten Hand des Beobachters liegt, und demgemäss die Fehldistanz durch Verstellung des am weitesten nach rechts oder des am weitesten nach links gelegenen Fadens gewonnen wird. Mit Rücksicht hierauf ist nothwendig, mit der Raumlage der Normaldistanz regelmässig zu wechseln, und eine gleiche Anzahl von Versuchen nach der einen und nach der andern Weise anzustellen.

Auch der Einfluss der Uebung ist zu berücksichtigen. Wenn also in einer Versuchsreihe verschiedene Normaldistanzen, etwa *a b c d* in Frage kommen, so darf man nicht die mit *a* anzustellenden Versuche bis zu Ende durchführen und dann zu den Versuchen mit *b* übergehn u. s. w., sondern man muss in 4 successiven Versuchen für jede der 4 Normaldistanzen die entsprechende Fehldistanz suchen, um dann die Reihenfolge der Experimente mit *a* von neuem zu beginnen. Aus gleichem Grunde darf man die Versuche, welche bei einer bestimmten Raumlage der Normaldistanz ausgeführt werden, nicht vollenden wollen, ehe man zu denen mit der entgegengesetzten Raumlage übergeht, sondern man muss mit den Raumlagen wie mit den Distanzen in der Weise wechseln, dass die Einflüsse der Uebung sich ausgleichen.

Ein Umstand, welcher besondere Berücksichtigung verdient, ist die Berechnung des mittleren Fehlers. Man kann denselben nicht dadurch gewinnen, dass man die Abweichungen der Fehldistanzen von den Normaldistanzen (Fechner's roher Fehler) summirt und mit der Zahl der Beobachtungen dividirt. Ein solches Verfahren wäre nur zulässig, wenn die Summe der Fehldistanzen dividirt durch die Summe der Beobachtungen einen der Normaldistanz gleichen Werth ergäbe. Die Erfahrung lehrt aber, dass die mittlere Fehldistanz, welche man durch die eben erwähnte Division erhält, in auffallendster Weise von der Normaldistanz abweichen kann, und dass diese Abweichungen nicht nur von der oben erörterten Raumlage der Normaldistanz abhängen, sondern auch zu verschiedenen Zeiten verschieden gross ausfallen und bisweilen die Vorzeichen wechseln. Ich besitze eine Versuchsreihe von mehr als 1000 Beobachtungen, in welchen das Vorzeichen des Fehlers mit der Veränderung der Raumlage regelmässig wechselte, und eine eben so umfangreiche, in welcher die Fehler ohne Ausnahme bei beiden Raumlagen positiv ausfielen.

Es ist einleuchtend, dass hier Ursachen vorliegen, welche den Irrthum nach einer bestimmten Seite hindrängen, weshalb auch Fechner den Unterschied der Normaldistanz und der mittleren Fehldistanz unter dem Namen constante Fehler aufführt. Auf keinen Fall dürfen diese, ausschliesslich nach einer Seite neigenden Abweichungen mit den Fehlern zusammengeworfen werden, welche nach dem Wahrscheinlichkeitsgesetze eben so oft über

als unter das rechte Maass treffen und welche bei algebraischer Summation sehr vieler Fälle durch die entgegengesetzten Vorzeichen sich aufheben.

Um also den mittleren Fehler zu finden, muss man zunächst die mittlere Fehldistanz suchen, und den Unterschied derselben von der Fehldistanz jedes einzelnen Falles notiren. Diese, nach Fechner's Terminologie, reinen variabeln Fehler, werden ohne Rücksicht auf die Vorzeichen addirt, und mit der Zahl der gegebenen Beobachtungen dividirt. Der so gefundene Werth ist der mittlere Fehler für eine Beobachtung.

Da die Grösse und das Vorzeichen der constanten Fehler nicht blos unter dem Einflusse der Raumlage der beobachteten Distanzen, sondern auch unter dem Einflusse der Zeit steht, so ist es nicht zweckmässig, den mittleren Fehler aus den Fehlern sämmtlicher Versuche mit einem Male abzuleiten. Man thut besser, lange Versuchsreihen in Bruchstücke von etwa 10—20 Versuchen zu zerfällen, und für jedes derselben, nach Maassgabe der zugehörigen mittleren Fehldistanz, die Werthe der reinen variabeln Fehler besonders zu bestimmen. Selbstverständlich sind die Fehlersummen dieser einzelnen Fractionen schliesslich in eine Generalsumme zu ziehen.

Ich begnüge mich, bezüglich des von mir eingehaltenen Verfahrens mit diesen kurzen Andeutungen, und verweise diejenigen meiner Leser, welche über die Bedeutung und mathematische Behandlung der verschiedenen hier erwähnten Fehlerarten Näheres zu wissen wünschen, auf das eben so gründliche als ausführliche Werk Fechner's.

§ 66. Ich werde zunächst eine Anzahl von Versuchsreihen vorlegen, welche die Grenzen, innerhalb welcher das Weber'sche Gesetz gültig ist, zu beurtheilen gestatten. Die in Betracht gezogenen Distanzen (D) differiren zwischen $0{,}2^{mm}$ und 240^{mm}, doch wird die Breite dieses Unterschiedes, durch die Ungleichheit der angewandten Sehweite um mehr als das Doppelte vermindert.

Bei jeder Versuchsreihe ist angegeben:

Unter Z die Zahl sämmtlicher Versuche, welche gemacht worden;

unter μ die Zahl der Fractionen, in welche die Versuchsreihe zerfällt wurde, um die reinen variabeln Fehler zu bestimmen;

unter m die Zahl der Versuche, welche in eine solche Fraction eingehen.

Mit den Buchstaben L und R wird angedeutet, dass die in m Versuchen aufgehäufte Fehlersumme (bezeichnet mit $\Sigma\Delta$) bei linker oder rechter Raumlage der Normaldistanz entstanden.

Die Zahl der Fractionen μ, so wie die Zahl der zu einer Fraction gehörigen Versuche m, ist für beide Raumlagen dieselbe. Die bei der Raumlage L und bei der Raumlage R begangenen Fehler zusammenaddirt geben die Totalsumme der Fehler, bezeichnet mit S, für die bestimmte Distanz D. Diese Fehlersumme ist also aus $2m\mu = \frac{Z}{n}$ Beobachtungen hervorgegangen, wenn n die Anzahl der in der Versuchsreihe berücksichtigten Distanzen bezeichnet.

Addirt man die zu allen beobachteten Distanzen gehörigen S-Werthe, so erhält man in Summa summarum diejenige Fehlermenge, welche in $2m\mu n = Z$ Beobachtungen gemacht worden. Ich werde vorkommenden Falles diese Summe durch SS bezeichnen.

Um anschaulicher zu machen, wie weit das Weber'sche Gesetz auf die kleinsten erkennbaren Grössenunterschiede passe, habe ich die gefundenen Werthe S und die theoretisch geforderten S' unter einander gestellt. Man erhält S', wenn man den Werth SS mit der Summe der beobachteten Distanzen dividirt, und für jede einzelne Distanz mit dem Werthe dieser multiplicirt. Hiernach bedeutet S' die einer gegebenen Distanz proportionale Fehlersumme für $2m\mu$ Beobachtungen, d. h. diejenige Fehlersumme, welche der Weber'schen Theorie zufolge in sämmtlichen an einer bestimmten Distanz gemachten Versuchen sich angehäuft haben müsste. In allen nachstehenden Tabellen ist die Maasseinheit = 1 Millimeter.

Versuch 67.

Von mir selbst bei 800^{mm} Sehweite angestellt. Benutzt werden 3 an einem horizontalen Maassstabe in verschiebbarer Weise angebrachte Fäden, welche in Folge angehängter Gewichte eine lothrechte Richtung haben. Die horizontalen Distanzen lassen sich an dem Maassstabe bis auf 1^{mm} direct messen und bis auf $\frac{1}{10}^{mm}$ abschätzen.

Gegeben sind die Werthe: $Z = 768$, $\mu = 3$, $m = 16$, $n = 8$.

Distanzen in Millim.

	10	20	40	80	120	160	200	240
$\Sigma\Delta$ L	6,9	7,2	20,7	39,5	76,7	104,3	86,0	108,9
$\Sigma\Delta$ R	4,6	10,9	23,5	42	57,6	77,5	97,4	140,5
$S =$	11,5	18,1	44,2	81,5	134,3	181,8	183,4	249,4
$S' =$	10,39	20,78	41,56	83,12	124,68	166,24	207,8	249,3

$SS = 904,2^{mm}$.

In der Hoffnung, das Verständniss der Tabellen zu erleichtern, will ich die Berechnung des Werthes S' für den eben mitgetheilten Versuch ausführlich vorlegen.

Wir haben für jede der 8 Distanzen 3 Versuchsfractionen (μ) zu 16 Versuchen (m), also im Ganzen 48 Versuche. Diese Versuche sind einmal bei linker (L), und einmal bei rechter (R) Raumlage angestellt worden, wodurch sich die Zahl der Versuche auf 96 verdoppelt. In Betracht aber, dass dieselbe Anzahl von Versuchen mit jeder der 8 Distanzen angestellt worden, summiren sich die sämmtlichen Versuche (Z) schliesslich auf 768.

Addirt man die unter S angegebenen Fehlersummen der einzelnen Distanzen (in der Richtung von links nach rechts) so erhält man die Totalsumme der Fehler (SS), welche in allen Versuchen gemacht worden, im vorliegenden Falle $904,2^{mm}$.

Nun verlangt aber die Theorie, dass die für jede einzelne Distanz erhaltene Fehlersumme (S) der bezüglichen Distanz proportional sei. Um die Richtigkeit dieser Ansicht zu prüfen, müssen wir die Totalsumme der Fehler $(SS) = 904,2^{mm}$, unter die 8 verschiedenen Distanzen proportional vertheilen. Das geschieht auf folgende Weise. Man addirt die Werthe der in Obacht genommenen Distanzen 10^{mm}, 20^{mm}, 40^{mm} u. s. w., und erhält hiermit die Distanzsumme 870^{mm}.

Dividirt man mit diesem Werthe die Totalsumme der Fehler, also $\frac{904,2}{870}$, so erhält man $1,039^{mm}$ als diejenige Fehlersumme, welche in einer Distanz von 1^{mm} Grösse in $2\mu m = 96$ Versuchen begangen worden ist.

Multiplicirt man diese an je 1^{mm} haftende Fehlersumme mit dem Werthe der bezüglichen Distanz, so erhält man die ihr zu-

fallende proportionale Fehlersumme S'. Dividirt man dagegen eben diese Fehlersumme mit der Zahl der Beobachtungen, welche mit jeder einzelnen Distanz angestellt worden, im vorliegenden Falle also mit 96, so erhält man den mittleren Ausgleichungsfehler F, welcher jeder einzelnen Beobachtung mit einer Distanz von 1^{mm} Grösse zufällt. Im vorliegenden Falle ist $F = \frac{1,039}{96} = 0,0109$ $= \frac{1}{91}$mm. Ich werde in den nachfolgenden Versuchen diesen jedenfalls interessanten Werth überall angeben, wobei nur zu beachten, dass der Bruch F immer auf die Maasseinheit zu beziehen ist, welche in einigen Versuchsreihen auf 0,1^{mm} herabsinkt.

Versuch 68.

Der Versuch ist eine genaue Wiederholung des vorigen, so dass auch die Werthe Z, m, μ dieselben bleiben.

	Distanzen in Millim.							
	10	20	40	80	120	160	200	240
$\Sigma\Delta$ L	7,7	10,9	20,9	43,5	57,1	90,5	82,2	98,2
$\Sigma\Delta$ R	3,9	9,2	8,3	30,4	64,1	63,4	106,7	117,9
S	11,6	20,1	29,2	73,9	121,2	153,9	188,9	216,1
S'	9,4	18,8	37,6	75,2	112,8	150,4	188	225,6

$SS = 814,9$; $F = {}^{1}/_{102}$

Beide Versuchsreihen stimmen sehr gut zu dem Weber'schen Gesetze und sind beiläufig bemerkt dieselben, welche Fechner, Psychophys. I. 215, als Reihe II. und III. schon mitgetheilt hat (nur waren früher in Reihe III. die Dimensionen 10 und 20 Millimeter nicht berücksichtigt worden, für welche ich die Beobachtungen nachgeholt habe).

Versuch 69.

Angestellt von Herrn stud. med. Solger mit demselben Apparate, bei 343^{mm} Sehweite.

Es ist $Z = 1200$, $\mu = 10$, $m = 10$, $n = 6$.

	Distanzen in Millim.					
	10	20	30	40	50	60
$\Sigma\Delta$ L	10,68	22,4	26,48	35,88	41,34	50,6
$\Sigma\Delta$ R	13,12	22,92	33,46	36,34	54,36	62,44
S	23,80	45,32	59,94	72,22	95,70	112,74
S'	19,51	39,02	58,53	78,04	97,55	117,06

$SS = 409,72$; $F = {}^{1}/_{102}$

Versuch 70.

Wiederholung des vorigen Versuches von demselben unter denselben Umständen.

	Distanzen in Millim.					
	10	20	30	40	50	60
$\Sigma\Delta$ L	10,92	14,72	25,12	32,88	36,32	41,6
$\Sigma\Delta$ R	11,66	17,52	29,04	35,72	45,38	55,42
S	22,58	32,24	54,16	68,60	81,70	97,02
S'	16,97	33,94	50,91	67,88	84,85	101,82

$SS = 356,8$; $F = {}^{1}/_{119}$

Auch in diesen Versuchen ist die Uebereinstimmung zwischen den gefundenen und berechneten Werthen eine ziemlich befriedigende.

Versuch 71.

Von mir selbst mit Hülfe des § 54 beschriebenen Schraubenmikrometers und bei 333^{mm} Sehweite angestellt. $Z = 1000$, $\mu = 10$, $m = 10$, $n = 5$.

	Distanzen in Millim.				
	1	2	3	4	5
$\Sigma\Delta$ L	1,156	2,067	2,459	4,000	4,439
$\Sigma\Delta$ R	1,182	2,536	3,180	3,934	4,906
S	2,338	4,603	6,139	7,934	9,345
S''	2,023	4,046	6,069	8,092	10,115

$SS = 30,359$; $F = {}^{1}/_{99}$

Obschon auch diese mit kleineren Dimensionen ausgeführten Versuche dem Weber'schen Gesetze leidlich entsprechen, so ist

doch die Proportionalität zwischen den Fehlersummen und den beobachteten Distanzen nicht mehr so vollständig, als in den Versuchen mit grossen Dimensionen. Die gefundenen Fehlersummen sind nämlich für die kleinen Distanzen grösser und für die grossen Distanzen kleiner, als sie der Proportionalität gemäss sein sollten.

Es wird sich finden, dass in Versuchen mit noch kleineren Distanzen dieselbe Abweichung, nur viel auffälliger auftritt, und sind daher die eben bemerkten Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Fehlersummen schwerlich zufällige. Schon Fechner hat darauf hingewiesen, dass das Weber'sche Gesetz nach den entgegengesetzten Seiten der grossen und kleinen Dimensionen eine endliche Grenze habe, und es ist höchst wahrscheinlich, dass die in den vorstehenden 3 Versuchsreihen bemerklichen Abweichungen der Fehlersummen von der Proportionalität mit einem Ueberschreiten der unteren Grenze in Zusammenhang stehen.

§ 67. Ich werde nun Versuchsreihen mit solchen Distanzen vorlegen, welche, als zu kleine, aus den Grenzen des Weber'schen Gesetzes unzweifelhaft heraustreten. In diesen Versuchen ist der Mangel der Proportionalität zwischen den Fehlersummen einerseits und den beobachteten Distanzen andrerseits so auffallend, dass ich die Nebeneinanderstellung der Werthe S und S' als überflüssig unterlasse. Der erste Blick lehrt nämlich, dass die zu den kleineren Distanzen gehörigen Fehlersummen viel zu gross sind, um den Ansprüchen des Gesetzes zu genügen. Werden die Distanzen, mit welchen man die Ausgleichungsversuche ausführt, sehr klein, so verschwindet der Einfluss ihrer Dimension zuletzt vollständig, so dass die Fehlersummen merklich verschiedener Distanzen gleiche Werthe ergeben.

Fechner hat diese Thatsache noch nicht gekannt, und hat daher bei der Discussion der kleinsten sichtbaren Grössenunterschiede eine Hypothese aufgestellt, welche mit Rücksicht auf meine neueren Erfahrungen nicht haltbar ist. Fechner vermuthete, dass die Fehlersummen, und demgemäss die kleinsten erkennbaren Unterschiede, zweigliederige Grössen seien. Das eine Glied w entspreche dem Weber'schen Gesetze und sei den Distanzen proportional, das andere Glied dagegen, V, sei von den Distanzen durchaus unabhängig und also constant. Diese Hypothese entsprach den Fehlersummen von 4 Versuchsreihen, welche von mir und einem

meiner Schüler angestellt waren, in ziemlich befriedigender Weise. Nur die Fehlersummen der kleinsten Distanz fielen aus der Reihe, was FECHNER auf Irradiations-Störungen glaubte beziehen zu dürfen. Gegenwärtig ist klar, dass dieses Herausfallen aus der Reihe nicht von zufälligen Störungen, sondern davon abhängt, dass die Fehlersummen, welche sich bei Beobachtung kleinster Distanzen anhäufen, noch von besondern constanten Ursachen abhängen.

Bei Aufzeichnung der hieher gehörigen Versuche werde ich die Fehler, welche bei der rechten und linken, respective oberen und unteren Raumlage der Normaldistanz gemacht werden, nicht weiter sondern. Der Werth S verändert daher seine frühere Bedeutung und bezeichnet im Nachstehenden die Fehlersummen, welche in $2m\mu$ Beobachtungen entstanden. — Ich bemerke noch, dass alle hiebergehörigen Versuche mit Hülfe des Schraubenmikrometers (§ 54) angestellt sind.

Versuch 72.

Angestellt von meinem ehemaligen Assistenten Herrn APPEL, jetzt Dr. med. Sehweite 300^{mm}. Raumlage abwechselnd links und rechts. $Z = 792$, $m = 11$, $\mu = 6$, $n = 6$.

	Distanzen in Millim.					
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
S	0,878	1,267	1,351	1,540	1,713	2,025

$SS = 8,774$ $F = 1/_{54}$

Versuch 73.

Angestellt von demselben, unter denselben Umständen, jedoch bei 370^{mm} Sehweite. $Z = 1344$, $m = 48$, $\mu = 2$, $n = 7$.

	Distanzen in Millim.						
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
S	1,187	1,187	1,334	1,219	1,446	1,388	1,495

$SS = 9,256$ $F = 1/_{73}$

Versuch 74.

Von mir bei 333^{mm} Sehweite angestellt. Raumlage abwechselnd oben und unten. $Z = 576$, $m = 96$, $\mu = 1$, $n = 6$.

	Distanzen in Millim.					
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
S	2,908	2,980	3,618	4,487	5,198	6,144

$SS = 25,335$ $F = {}^1/_{41}$

Versuch 75.

Von mir bei 333^{mm} Sehweite angestellt. Raumlage rechts und links wechselnd. $Z = 840$, $m = 30$, $\mu = 2$, $n = 7$.

	Distanzen in Millim.						
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
S	1,325	1,445	1,303	1,541	1.777	2,121	2,276

$SS = 11,488$ $F = {}^1/_{68}$

Versuch 76.

Angestellt von Herrn stud. med. Jahn bei 250^{mm} Sehweite. Raumlage abwechselnd rechts und links. $Z = 1,152$, $m = 16$, $\mu = 6$, $n = 6$.

	Distanzen in Millim.					
	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
S	1,821	1,514	1,942	2,331	2,558	2,944

$SS = 12,610$mm $F = {}^1/_{73}$

Versuch 77.

Angestellt von meinem Assistenten Herrn stud. med. Geiss. Sehweite 250^{mm}. $Z = 1344$, $m = 16$, $\mu = 7$, $n = 6$.

	Distanzen in Millim.					
	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
S	0,555	0,591	0,606	0,613	0,721	0,845

$SS = 3,931$ $F = {}^1/_{277}$

Versuch 78.

Angestellt von meinem Assistenten Herrn stud. med. Krause, bei 200^{mm} Sehweite. $Z = 1,152$, $m = 16$, $\mu = 6$, $n = 6$.

	Distanzen in Millim.					
	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
S	1,254	1,296	1,340	1,330	1,367	1,265

$SS = 7,902 \quad F = 1/_{118}$

In diesem letzten Versuche sind die Fehlersummen für sämmtliche Distanzen merklich dieselben.

§ 68. Wenn man bedenkt, dass die in den Ausgleichungsversuchen gemachten Fehler aus dem Verkennen gegebener Unterschiede entspringen, so kann kein Zweifel sein, dass der Gang der Fehlersummen in den soeben vorgelegten Versuchsreihen Rückschlüsse auf den Gang der kleinsten erkennbaren Unterschiede gestatte. Da die Fehlersummen in unsern Ausgleichungsversuchen den beobachteten Distanzen nicht proportional sind, so sind die kleinsten erkennbaren Grössenunterschiede ihnen auch nicht proportional, und da die Fehlersummen mit Verkleinerung der Distanzen relativ wachsen, so ist unzweifelhaft, dass die kleinsten erkennbaren Grössenunterschiede nach derselben Seite hin relativ ebenfalls wachsen.

Es sei gestattet dies an den unter Nr. 72—78 vorgelegten Versuchen speciell nachzuweisen. Ich habe im Vorhergehenden bereits den mittleren Ausgleichungsfehler, für jede Versuchsreihe im Ganzen, angegeben und mit F bezeichnet. Jetzt gilt es, den relativen Ausgleichungsfehler für jede der in Anwendung genommenen Distanzen im Besonderen zu berechnen. Zu dem Ende dividirt man die bei jeder einzelnen Distanz erhaltene Fehlersumme S mit dem Werthe der Distanz, und den so erhaltenen Quotienten mit der Zahl der gemachten Beobachtungen $= 2m\mu$. Auf diese Weise erhält man das Verhältniss des Ausgleichungsfehlers, der bei Anwendung einer bestimmten Distanz gemacht worden, zur Maasseinheit. Im Nachstehenden ist dieses Verhältniss durch die unterhalb der Distanzen D notirten Brüche F' gegeben.

Verhältniss in Versuch 72 (von Appel).

D	0,2mm	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
F'	1/30	1/42	1/59	1/68	1/77	1/77

Verhältniss in Versuch 73 (von APPEL).

D	0,2mm	0,3	0,4	0.5	0,6	0,7	0,8
F'	1/32	1/48	1/52	1/79	1/80	1/97	1/103

Verhältniss in Versuch 74 (von VOLKMANN).

D	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
F'	1/26	1/48	1/43	1/47	1/44	1/44

Verhältniss in Versuch 75 (von VOLKMANN).

D	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
F'	1/19	1/42	1/55	1/63	1/68	1/68	1/73

Verhältniss in Versuch 76 (von JAHN).

D	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
F'	1/44	1/62	1/69	1/74	1/83	1/85

Verhältniss in Versuch 77 (von GEISS).

D	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
F'	1/122	1/188	1/256	1/333	1/345	1/345

Verhältniss in Versuch 78 (von KRAUSE).

D	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3
F'	1/47	1/75	1/100	1/127	1/155	1/190

Aus dieser Zusammenstellung ergiebt sich, dass die relativen Ausgleichungsfehler, und folglich die kleinsten erkennbaren Unterschiede mit zunehmender Kleinheit der verglichenen Distanzen wachsen.

§ 69. Um das Resultat der eben besprochenen Versuche, welche nach der Methode des mittleren Fehlers angestellt sind, noch besser zu begründen, habe ich anderweitige Versuche nach der Methode der kleinsten erkennbaren Unterschiede angestellt.

Versuch 79.

Von Herrn KRAUSE mit Hülfe des Schraubenmikrometers bei 200 Millimeter Sehweite angestellt. Das Verfahren ist folgendes. Es wird eine Normaldistanz unter abwechselnd linker und rechter Raumlage dazu benutzt, eine Fehldistanz herzustellen, welche,

wiederum abwechselnd, um ein Minimum grösser oder kleiner erscheint. Durch das Wechseln der Raumlagen einerseits, und des Vorzeichens der Unterschiede andrerseits, wurde der Einfluss der constanten Fehler ausgeglichen. Es war nur nöthig, die unter regelmässig wechselnden Bedingungen erhaltenen Differenzen ohne Berücksichtigung des Vorzeichens zu addiren und durch die Zahl der Beobachtungen zu dividiren, um für den kleinsten erkennbaren Unterschied einen mittleren Werth zu erhalten.

Benutzt wurden die Distanzen 0,5mm, 0,9mm und 1,3mm, so dass mit jeder derselben 80 Versuche angestellt wurden, nämlich 40 bei linker und eben so viele bei rechter Raumlage. Von diesen 40 Versuchen diente die eine Hälfte zur Herstellung von positiven Unterschieden $= + u$, die andre zur Herstellung von negativen $= - u$. Das Nähere besagt die Tabelle.

Summe der Unterschiede für 20 Beobachtungen, in Millimetern ausgedrückt.

	Distanzen					
	0,5mm		0,9mm		1,3mm	
	$-u$	$+u$	$-u$	$+u$	$-u$	$+u$
L	0,274	0,296	0,275	0,279	0,279	0,313
R	0,280	0,293	0,254	0,297	0,306	0,256
Summe für 40 Beobachtungen	0,554	0,589	0,529	0,576	0,585	0,569

Summe der Plus- und Minus-Unterschiede.

	0,5mm	0,9mm	1,3mm
$+u$	0,589	0,576	0,569
$-u$	0,554	0,529	0,585
Summe für 80 Beobachtungen	1,143mm	1,105mm	1,154mm

Es zeigt sich also, dass der absolute Werth des kleinsten erkennbaren Unterschiedes für sämmtliche Distanzen derselbe, nämlich im Mittel von 240 Beobachtungen $= {}^1/_{80}$mm ist. Dieses Resultat verdient um so mehr Zutrauen, als es mit dem des 78. Versuches von demselben Beobachter sehr gut übereinstimmt.

Es bleibt noch übrig anzugeben, wie sich der kleinste er-

kennbare Unterschied in Krause's letzten Versuche (79) zu den verschiedenen Distanzen verhalte.

	Distanzen		
	0,5mm	0,9	1,3
Relativer Unterschied	1/35	1/66	1/90

Versuch 80.

Von mir selbst nach dem Muster des vorigen angestellt. Benutzt wurden die Distanzen 0,3mm, 0,6mm, 1,2mm, 2,4mm, 4,8mm. Mit jeder dieser Distanzen sind 80 Versuche gemacht worden, nämlich 40 bei linker und 40 bei rechter Raumlage der Normaldistanz. Von diesen 40 Versuchen diente auch jedesmal die Hälfte zur Herstellung zu grosser, die andre zur Herstellung zu kleiner Fehldistanzen, so dass die kleinsten erkennbaren Unterschiede ∓ Vorzeichen erhalten.

A. Angabe der kleinsten erkennbaren + Unterschiede.

	Distanzen				
	0,3mm	0,6	1,2	2,4	4,8
L	0,691	1,113	1,701	1,666	2,566
R	0,509	0,798	1,377	3,335	3,706
S	1,200	1,911	3,078	5,001	6,272

B. Angabe der kleinsten erkennbaren — Unterschiede.

	Distanzen				
	0,3mm	0,6	1,2	2,4	4,8
L	0,401	0,613	1,701	2,695	4,342
R	0,516	0,734	1,321	1,169	2,727
S	0,917	1,347	3,022	3,864	7,069

Totalsumme der kleinsten erkennbaren ∓ Unterschiede.

Distanzen				
0,3mm	0,6	1,2	2,4	4,8
2,117	3,249	6,100	8,865	13,341

Diese Summen sind mit 80 zu dividiren, um die **absoluten** Werthe der kleinsten erkennbaren Unterschiede zu erhalten. Im Nachstehenden bezeichne ich diese Werthe mit u, und das Verhältniss derselben zu den bezüglichen Distanzen mit $r.\ u$.

	Distanzen				
	0,3mm	0,6	1,2	2,4	4,8
u	1/38mm	1/25	1/13	1/9	1/6
$r.u$	1/11	1/15	1/16	1/21	1/29

Die nach der Methode der kleinsten erkennbaren Unterschiede angestellten Versuche stimmen also mit denen nach der Methode der mittleren Fehler vollkommen überein. Beide besagen, dass bei Vergleichung kleiner Distanzen das Weber'sche Gesetz seine Gültigkeit verliere, und dass die kleinsten erkennbaren Unterschiede mit zunehmender Kleinheit der Distanzen relativ wachsen.

§ 70. Die allgemein bekannte Erfahrung, dass man mit Hülfe des Mikroskops Grössenunterschiede wahrnimmt, welche dem unbewaffneten Auge entgehen, ist allein ausreichend, zu beweisen, dass die kleinsten relativen Grössenunterschiede nicht bis ins Unbegrenzte constante Werthe sind. Auch sollen die von mir mitgetheilten zeitraubenden Versuche nicht dazu dienen, eine wie ich glaube unzweifelhafte Thatsache durch neue Beweise zu stützen, sondern ein Material bieten, welches zur Beleuchtung mancher psychophysischen Fragen nutzbar scheint. Hierher gehörige Fragen sind folgende.

1. Innerhalb welcher Grenzen erweist sich das Weber'sche Gesetz als anwendbar.

2. Wie verhält sich der kleinste erkennbare Grössenunterschied zu den verglichenen Distanzen, oder mit andern Worten: wie weit reicht die Feinheit des Auges beim Unterscheiden räumlicher Grössen.

3. Welches ist der physiologische Grund davon, dass das Weber'sche Gesetz bei Vergleichung sehr kleiner Dimensionen seine Anwendbarkeit verliert.

Ich will nicht unterlassen, im voraus zu bemerken, dass mein Erfahrungsmaterial, trotz seiner beträchtlichen Ausdehnung, zur vollständigen Beantwortung dieser schwierigen Fragen keines-

wegs ausreicht, und bescheide mich, für Untersuchungen, deren Abschluss noch sehr fern liegen dürfte, einen Anfang zu liefern.

§ 71. Anlangend die Grenzen des WEBER'schen Gesetzes, so habe ich nach der oberen Grenze überhaupt nicht gesucht. Wollte man die kleinsten erkennbaren Unterschiede an sehr grossen Distanzen bestimmen, so würden Augenbewegungen von ansehnlicher Grösse erforderlich werden, und könnte das möglicher Weise zu neuen Verwickelungen führen.

Meine Versuche können nur zu einer Beurtheilung der unteren Grenze benutzt werden, und geben nur über die Verhältnisse in meinem Auge Auskunft. Die Distanzen, mit welchen ich operirte, lagen zwischen 0,2^{mm} (Vers. 75) und 240^{mm} (Vers. 67 und 68). Indess sind jene bei 333 + 7^{mm} Sehweite, diese bei 800^{mm} Abstand vom Auge angestellt. Reducirt man, wie unerlässlich, alle Versuche auf gleiche Sehweite, und zwar auf die von 333 + 7^{mm}, so liegen die von mir in Anwendung genommenen Distanzen im 67. und 68. Vers. zwischen 4,21^{mm} und 101,04^{mm}.

Da nun in diesen Versuchsreihen die Summen der Ausgleichungsfehler sich sehr approximativ wie die bezüglichen Distanzen verhalten, so darf man annehmen, dass bei einer Sehweite von 340^{mm} das WEBER'sche Gesetz für Distanzen von 4,21 bis 101,04^{mm} Grösse gültig sei.

An diese Versuchsreihen schliesst sich nun die unter Nr. 71 mitgetheilte, welche unmittelbar bei 333 + 7^{mm} Sehweite angestellt ist. Die benutzten Distanzen liegen zwischen 1—5^{mm}, und bilden also mit denen des 67. und 68. Versuches eine fortlaufende Reihe. In diesem Versuche ist die Proportionalität zwischen den Fehlersummen und den bezüglichen Distanzen bereits weniger befriedigend. Berechnet man für jede der in Anwendung genommenen Distanzen den relativen Ausgleichungsfehler (unser F' § 68), so findet sich folgendes:

	Distanzen				
	1 mm	2	3	4	5
F'	$^1/_{86}$	$^1/_{87}$	$^1/_{97}$	$^1/_{101}$	$^1/_{107}$

Die relativen Ausgleichungsfehler nehmen mit der Verkleinerung der Distanzen continuirlich zu, ein Beweis, dass die verschiedenen Grössen der F'-Werthe nicht blos zufälliger Art sind.

Als Schlussglied in der Reihe dieser Untersuchu[...] Versuch 75 erwähnt werden. Die Sehweite betrug [...] 111 + [illegible]mm, die Distanzen schwankten zwischen 0,2mm un[...] Berechnet man für diesen Fall die F-Werthe, so erhält m[...]

	Distanzen						
F	0,4mm	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,[...]
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1/63	1/68	1/68	1/72

Bei einer Sehweite von 340mm bildet also eine Distan[...] ungefähr [illegible]mm für mein Auge die untere Grenze des Weber'[...] Gesetzes.

Berechnet man für diese Distanz das Netzhautbild, so er[...] man eine Grösse von 0,176mm, zu deren Herstellung, wenn [...] die Messungen von M. Schultze und H. Müller zu Grunde leg[...] etwa 88 Zapfen erforderlich sind.

Unterhalb der eben bezeichneten Grenze nehmen die Au[...] gleichungsfehler, und folglich die kleinsten erkennbaren Unter[...] schiede continuirlich zu.

§ 72. Es fragt sich weiter: wie verhält sich der kleinste er-kennbare Grössenunterschied u zu den Grössen, auf deren Unter-scheidung es ankommt? Bemerken wir zunächst, dass directe Versuche zur Beantwortung dieser Frage nicht vorliegen. Wie oben ausführlich erörtert worden, führen die Ausgleichungsver-suche auf die kleinsten verkennbaren Unterschiede, die wir mit u' bezeichnen wollen, und ist einleuchtend, dass diese kleiner sein müssen, als die erkennbaren Unterschiede, die wir suchen. Eben so wenig können die unter 79 und 80 erörterten und nach der Methode der kleinsten erkennbaren Unterschiede angestellten Ver-suche genügenden Aufschluss geben. Denn da bei dieser Methode (vergl. § 69) nur die Fälle zählen, in welchen man einen Unter-schied unzweifelhaft wahrnimmt, dagegen die Fälle, bei welchen der Unterschied nicht wahrgenommen wird, schlechthin verwor-fen werden, so müssen sämmtliche Beobachtungsfehler auf eine Seite fallen. Der aus den Versuchen abgeleitete Mittelwerth wird nicht den Unterschied u darstellen, den wir suchen, sondern einen grösseren, den ich mit u'' bezeichne.

Da nun die Methode der mittleren Fehler (die Ausgleichungs-versuche) auf einen zu kleinen, die Methode der eben merklichen

Unterschiede dagegen auf einen zu grossen Zahlenwerth führt, so liegt der kleinste erkennbare Unterschied, wenn auch nicht in der Mitte beider, doch jedenfalls zwischen beiden. Mit Rücksicht hierauf lässt sich der Werth u wenigstens annäherungsweise feststellen.

In zwei von mir angestellten Versuchen war $u' = {}^1/_{102}$ in Vers. 68, und $u'' = {}^1/_{29}$ in Vers. 80. Läge nun u in der Mitte zwischen u' und u'', so wäre der kleinste erkennbare Unterschied für mein Auge im Mittel ${}^1/_{45}$.

Ich vermuthe indess, dass bei diesem Rechnungsverfahren das Unterscheidungsvermögen des Auges unterschätzt wird. Wahrscheinlich liegt u nicht in der Mitte zwischen u' und u'', sondern dem erstern Werthe merklich näher. Zur Unterstützung dieser Ansicht kann ich Versuche vorlegen, welche nach der von Fechner beschriebenen Methode der richtigen und falschen Fälle ausgeführt wurden, und will zum Verständniss derselben folgendes vorausschicken.

Wenn ein gegebener Grössenunterschied in einer ausgedehnten Versuchsreihe eben so oft verkannt als erkannt wird, so kann man in einem solchen Ergebnisse nur ein Spiel des Zufalls erblicken und wird annehmen müssen, dass der Unterschied zu klein und für das räumliche Empfinden nicht maassgebend sei. Je mehr die Fälle, in welchen man den gegebenen Grössenunterschied richtig beurtheilt, die entgegengesetzten Fälle, in welchen man irrt, der Zahl nach überbieten, um so unzweifelhafter ist es, dass der Unterschied ein die Empfindung bestimmender und unter geeigneten Umständen erkennbarer sei. Würde man in allen Fällen richtig urtheilen, so könnte dies nur daran liegen, dass der Unterschied zu gross wäre, um durch die seiner Wahrnehmung ungünstigen Zufälle jemals verdeckt zu werden. Ein Unterschied, welchen man niemals verkennt, ist also jedenfalls merklich grösser als der kleinste wahrnehmbare.

Um Versuche nach diesem Principe auszuführen, habe ich mich des schon mehr erwähnten Schraubenmikrometers bedient. Durch die 3 parallel verlaufenden Fäden des Instrumentes wurden die beiden zur Unterscheidung bestimmten Distanzen abgegrenzt. Von diesen Distanzen hat immer eine 5^{mm} Breite, während die zweite um ein Bestimmtes grösser oder kleiner eingestellt wird.

Selbstverständlich musste dem Beobachter, welcher den gegebenen Unterschied zu beurtheilen hatte, die Raumlage der beiden ungleichen Distanzen unbekannt bleiben, und wurde demnach die Einstellung der Mikrometerfäden einem Gehülfen überlassen.

Versuch 81.

Von mir selbst angestellt. Der Grössenunterschied der beiden verglichenen Distanzen hatte den absoluten Werth von $\mp 0{,}08^{mm}$ und folglich den relativen von $^1/_{62}$. In 20 Beobachtungen bei $300+7^{mm}$ Sehweite betrug die Zahl der richtigen Fälle 17. Ein so auffallendes Ueberwiegen der richtigen Fälle vor den falschen ist nicht nothwendig, um die Erkennbarkeit des gegebenen Unterschiedes nachzuweisen, d. h. mit andern Worten: ein relativer Grössenunterschied von $^1/_{62}$ ist noch nicht der kleinste erkennbare.

Wir hatten für mein Auge $u' = {}^1/_{102}$, $u'' = {}^1/_{29}$, ersteres kleiner, letzteres grösser als u. Läge der u–Werth in der Mitte beider, so hätten wir $u = {}^1/_{45}$; jetzt findet sich aber, dass u kleiner als $^1/_{62}$, und folglich liegt u viel näher an u' als an u'', was bewiesen werden sollte.

Herr Dr. Schweigger-Seidel wiederholte diesen Versuch unter vollständiger Beibehaltung der angegebenen Bedingungen, und verkannte den Unterschied in 15 auf einander folgenden Versuchen niemals.

Berechnet man das Netzhautbild des mit $0{,}08^{mm}$ gegebenen Unterschiedes, so erhält man $0{,}0004^{mm}$, eine Grösse, welche 5mal kleiner als der Durchmesser eines Zapfens nach Schultze ist.

§ 73. Die dritte und schwierigste Frage ist die: welches ist der physiologische Grund, dass das Weber'sche Gesetz bei Unterscheidung sehr kleiner Dimensionen seine Anwendbarkeit verliert, und dass unterhalb einer gewissen Grenze die kleinsten erkennbaren Unterschiede umgekehrt wie die Dimensionen zunehmen?

Nehmen wir an, es seien zwei ungleiche Grössen gegeben, deren Unterschied der kleinste erkennbare sei, und bezeichnen die Dimension der einen Grösse mit D, die der andern mit $D+u$, so dass u im Nachstehenden den absoluten Werth des kleinsten erkennbaren Unterschiedes und $\frac{u}{D}$ dessen relativen Werth bedeutet.

Wenn es sich nun darum handelt, zu erklären, warum das in weitem Umfange constante Verhältniss $\frac{u}{D}$ bei sehr kleinen D-Werthen seine Beständigkeit aufgiebt und wächst, wenn D abnimmt, so scheint mir nothwendig, sich zunächst darüber zu verständigen, was die Wahrnehmung von u bedinge. Wenn man zwei Stäbchen von 60 und 61^{mm} Länge unterscheidet, so kann man den Unterschied derselben $=1^{mm}$ auch als selbstständige Grösse wahrnehmen. Wenn man dagegen zwei Distanzen von 0,60 und 0,61^{mm} unterscheidet, so kann man in diesem Falle den Unterschied $=0{,}01^{mm}$ nicht für sich allein, sondern nur im Zusammenhange mit der Distanz von 0,60^{mm}, welche er auf 0,61 erhebt, wahrnehmen. So verschieden beide Fälle in einer gewissen Beziehung sind, so wird doch die Erkennbarkeit der Unterschiede, hier wie dort, an eine gemeinsame Grundbedingung gebunden sein. Unter allen Umständen muss das Netzhautbild von u eine Nervenfläche treffen, welche im Zustande der Erregung einen Grösseneindruck hervorruft, denn nur unter dieser Bedingung ist möglich, dass $D+u$ grösser als D erscheine.

Wie gross eine Nervenfläche sein müsse, um zur Hervorrufung eines Grösseneindrucks befähigt zu sein, wissen wir nicht, wohl aber wissen wir, dass sie keine unendlich kleine sein könne. Die Nervensubstanz ist aus verschiedenen Elementen zusammen gesetzt, die als Körper einen Raum einnehmen. Selbst wenn das empfindende Theilchen aus einem einzigen Nervenatom bestände, würde es eine endliche Grösse haben, unter welche hinab eine weitere Verkleinerung undenkbar wäre. Hiermit rücken wir der physiologischen Erklärung, die wir suchen, schon näher.

Das Verhältniss $\frac{u}{D}$ wird, so weit das Weber'sche Gesetz reicht, durch einen sehr kleinen Bruch repräsentirt. In meinem Auge ist es kleiner als $^1/_{60}$, in guten Augen mag es oft $^1/_{100}$ betragen.

Wenn sich nun beispielsweise $u:D=1:100$ verhält, so ist das Netzhautbild von D hundertmal grösser als das von u. Wenn also in dem Verhältniss $\frac{u}{D}$ die absoluten Werthe des Zählers und Nenners mehr und mehr sinken, so wird aller Wahrscheinlichkeit nach das Netzhautsubstrat von u seinen Minimalwerth früher erreichen als das Netzhautsubstrat von D. Es würde nämlich, wenn

das Netzhautbild von u nur einen sensibeln Elementartheil deckte, das Netzhautbild von D deren 100 decken, und ist daher nicht nur möglich, sondern wahrscheinlich, dass eine der Empfindung merkbare Verkleinerung von D vor sich gehen könne, während eine gleiche für u nicht mehr möglich ist.

Unter diesen Voraussetzungen wäre das Anwachsen des Verhältnisses $\frac{u}{D}$ bei sehr weit getriebener Verkleinerung der D-Werthe vollkommen verständlich. Der Bruch muss wachsen, wenn die Verkleinerung des Nenners fortfährt, während der Zähler auf einem nicht weiter reducirbaren Minimalwerthe stehen bleibt.

§ 74. Ich sollte meinen, dass die vorstehende Erklärung alle Diejenigen befriedigen müsste, welche die von Weber aufgestellten ingeniösen Betrachtungen über die anatomischen Grundbedingungen der Raumsinne billigen. Wenn das Netzhautbild von D mehr als 100 Elementartheile überspannt, so kann man sich denken, dass an ihm ein Unterschied von $^1/_{100}$ erkennbar sei; wenn es dagegen weniger als 100 überspannt, scheint dies nicht denkbar. Deckte das Netzhautbild nur 50 oder gar nur 10 Raumelemente, so würde man im ersten Falle nur einen Unterschied von $^1/_{50}$, im letzteren nur von $^1/_{10}$ wahrzunehmen vermögen.

Ich will indess ausdrücklich bemerken, dass meine Erklärung auch auf Schwierigkeiten stosse. Beruht das Anwachsen des Bruches $\frac{u}{D}$ darauf, dass der Nenner eine Verkleinerung erfährt, während der Zähler aus physiologischen Gründen einer weiteren Theilung nicht fähig ist, so darf das Anwachsen des relativen Unterschiedes erst beginnen wenn der absolute Unterschied constant geworden.

Die nach der Methode der mittleren Fehler ausgeführten Ausgleichungsversuche erlauben zu beurtheilen, in wie weit diese unvermeidliche Consequenz unserer Hypothese den Thatsachen entspreche. Denn obschon die Ausgleichungsfehler nicht die kleinsten erkennbaren Unterschiede, sondern die kleinsten verkennbaren repräsentiren, so sind doch die Veränderungen beider unstreitig proportionale, und können also in den Fällen, wo die ver-

kennbaren Unterschiede variiren, die erkennbaren Unterschiede nicht constant sein.

Wir finden nun wirklich zwei Versuchsreihen von Geiss und Krause (Nr. 77 und 78), in welchen die Fehlersummen und folglich die ihnen proportionalen u-Werthe nahezu constant sind; dagegen differiren in den von Appel, Jahn und mir angestellten Versuchen (72—75) die Fehlersummen ziemlich merklich. Dass diese Differenzen nur auf Beobachtungsfehlern beruhen sollten, ist nicht anzunehmen, weil die Fehlersummen nicht nur differiren, sondern auch mit den Distanzen regelmässig, wenn auch langsam, wachsen.

Während also der Hypothese zufolge das Anwachsen des in weiten Grenzen constanten Verhältnisses $\frac{u}{D}$ erst mit dem Momente beginnen sollte, wo u auf seinen Minimalwerth herabgesunken ist, beginnt es nach der Mehrzahl der vorliegenden Versuche schon früher. Hiernach ist der gesuchte Causalzusammenhang noch nicht ganz klar und bedürfen die Ursachen, welche das verfrühte Anwachsen des relativen Unterschiedes bedingen, einer weiteren Untersuchung.

V. Ueber Ursprüngliches und Erworbenes in den Raumanschauungen.

§ 75. Dass unsere Raumanschauungen nicht minder Anerzogenes als Angeborenes enthalten, darüber dürfte unter den Physiologen und Psychologen kaum ein Zweifel vorkommen, nur die Grenzen beider sind streitig. Voraussichtlich wird die Bestimmung dieser Grenzen nie vollständig gelingen. Bei der Unmöglichkeit Aufschlüsse von Neugeborenen zu erhalten sind wir genöthigt, uns an die durch unzählige Einflüsse modificirten Empfindungen zu halten, welche wir selbst haben. Es kommt darauf an durch Beobachtungen und Versuche die ihnen anhaftenden accessorischen Elemente als solche nachzuweisen, und dadurch das rein Sinnliche, welches wir suchen, mehr und mehr zu sichten. Indess

wird dieses Verfahren nie vollständig zum Zwecke führen. Denn der durch Uebung und Erfahrung entwickelte Sinn verhält sich zu dem, was er sich aneignet, wenig anders, als der Körper des Erwachsenen zu den Massen, welche er im Verlaufe des Wachsthums in sich aufgenommen, die Verbindungen sind zu innige um sich wieder lösen zu lassen.

Mehr liesse sich von den Beobachtungen an operirten Blindgeborenen erwarten, nur kommen solche Fälle zu selten vor, und kaum je werden Operateur und Operirter den Grad physikalischer und philosophischer Bildung besitzen, welcher für so schwierige Untersuchung unerlässlich ist. Aber selbst wenn alle Umstände sich in günstigster Weise zusammenfänden, würde nicht unberücksichtigt bleiben dürfen, dass ein Operirter, welcher die hier vorausgesetzte geistige Entwickelung besässe, von dem Räumlichen bereits Vorstellungen haben würde, welche für die Anschauungen eines neuen Sinnes nicht gleichgültig sein könnten.

Nach den scharfsinnigen Untersuchungen E. H. Weber's über den Raumsinn scheint mir unzweifelhaft, dass die Fasern der Tast- und Sehnerven das Vermögen räumlich verschiedene Eindrücke zu erzeugen, von Geburt an besitzen. Zwar ist unverkennbar, dass wir die Raumverhältnisse der objectiven Welt erst durch Erfahrungen kennen lernen, aber dieses Erfahren setzt ein Vermögen, Erfahrungen zu machen, schon voraus. Man kann lernen, was der räumlichen Anschauung äusserlich entspreche, aber man kann nicht das räumliche Anschauen selbst lernen. Ich halte also die Wahrnehmung des Extensiven ebenso für eine primitive Thätigkeit des Sehnerven, wie die Wahrnehmung des Farbigen.

Sehr schwierig ist aber die Frage: was die Wahrnehmung des Extensiven mit Nothwendigkeit einschliesse, ob beispielsweise die Anschauungen der Grösse, Form und Entfernung? Dass alle diese räumlichen Beziehungen, in wiefern ihnen ein objectiver Inhalt beiwohnt, nicht ursprünglich erkannt werden können, versteht sich von selbst, nur beweist dies nicht, dass dem Auge des Neugeborenen entsprechende, ihrer Natur nach subjective Beziehungen ebenfalls fehlen.

Die meisten Physiologen, welche die subjective Seite der Sinnenthätigkeit gehörig würdigten, neigten wohl im Gegentheile zu der Ansicht hin, dass nicht nur das extensive Empfinden im

.llgemeinen, sondern specieller auch ein Wahrnehmen von Formen und Grössen durch den Bau der Organe unmittelbar gegeben sei. Dass Joh. Müller auf diesem Standpunkte gestanden, ist unverkennbar. Nach seiner Ansicht sehen wir die Dinge im Netzhautbilde zu klein, weil die gereizte Netzhautstelle sich im Zustande ihrer afficirten Leiblichkeit selbst empfindet und das Netzhautbildchen kleiner als das Object ist. Desgleichen nimmt er an, dass jeder gereizte Netzhautpunkt sein Empfinden in den ihm entsprechenden Punkt des subjectiven Sehfeldes eintrage. E. H. Weber hat sich vorsichtiger ausgedrückt, wenn er aber annimmt, dass die Grössenanschauung von der Zahl der gereizten Empfindungskreise abhänge, und die Ansicht aufstellt, dass für die Anordnungen der Nervenenden auf der sensibeln Fläche eine, wenn auch nicht gleiche, doch entsprechende Anordnung der Enden im *Sensorium commune* bestehen müsse, so scheint sich aus diesen wie manchen andern Aeusserungen zu ergeben, dass auch er gewisse Grössen- und Formenanschauungen als physiologische Functionen betrachte, die mit der Organisation der Raumsinne nothwendig gegeben sind.

§ 76. Ich kann nicht läugnen, dass auch ich die Weber'sche Ansicht für die wahrscheinlichste halte. Wer zugiebt, dass die Nerven der Raumsinne sich dadurch auszeichnen, dass ihre Fasern Empfindungen bedingen, welche sich räumlich ausschliessen, und weiter zugiebt, dass die Anschauung des Extensiven mit solchen sich räumlich ausschliessenden und demnach neben einander bestehenden Empfindungen ohne Weiteres gegeben sei, der wird die Ursprünglichkeit der Grössen- und Formanschauungen kaum noch in Zweifel ziehen können. Wenn die durch die einzelnen Nervenfasern geweckte Empfindung in der Form des Nebeneinander zur Anschauung kommen, so ist nicht einzusehen, wie die Zahl der fungirenden Fasern für die Extension jenes Nebeneinander gleichgültig sein könnte. Dieser Betrachtung, welche die Grössenanschauung als eine Function der Zahl der erregten Fasern und hiermit als eine ursprünglich gegebene auffasst, kommt eine zweite zu Hülfe. Wenn die primitiven Empfindungen der Raumsinne jedes Maasses entbehrten, und demnach der Eindruck des Ganzen von dem seiner Hälfte ursprünglich nicht unterschieden würde, so wäre vollkommen unbegreiflich, wie es zu einer solchen Unter-

scheidung jemals kommen sollte. Dass ein kleines Netzhautbildchen einem grossen Dinge entspreche, kann man lernen; dass aber ein aliquoter Theil des Netzhautbildchens ein extensiv kleineres sei, als das ganze Bildchen, lässt sich meines Erachtens nicht lernen.

Wenn nun eine räumliche Anschauung ohne den gleichzeitigen Eindruck irgend welcher Grösse gar nicht denkbar scheint, und wenn man zu der Ansicht gekommen, dass diese Grössenanschauung irgend welche, wenn auch noch nicht näher bekannte Function der Zahl der sensibeln Elementartheile sein müsse, so dürfte sich schliesslich die Annahme nicht abweisen lassen, dass den räumlichen Anschauungen auch schon Formen primitiv zufallen. Denn wenn viele gereizte Elementartheile einen grösseren Eindruck bedingen als wenige, so muss doch ein Netzhautbild, welches x Elementartheile breit und $10\ x$ Elementartheile lang ist, mehr lang als breit erscheinen und muss also im Gegensatz zu einem Quadrate den Eindruck des Oblongs machen.

§ 77. Auch wenn die im Vorhergehenden entwickelten Ansichten eine strenge Beweisführung zuliessen, was keineswegs der Fall ist, würden die Zweifel über das Ursprüngliche und Erworbene in den Raumanschauungen nicht erledigt sein. Denn einerseits würde der allgemeine Beweis, dass Zahl und Lagerung der sensibeln Elementartheile die Raumanschauungen nach Grösse und Form bestimmen, noch den speciellen Nachweis über das Wie der Bestimmung übrig lassen, andrerseits würde die Frage, in wieweit diese von der Organisation ausgehenden und deshalb primitiven Bestimmungen durch nachfolgende Erfahrungen des Weiteren bestimmt werden, ihrer Erledigung nicht näher gerückt sein. Es sind daher die Untersuchungen darüber, wie die Erfahrung in die Genese der Raumanschauungen eingreife, fortzusetzen und will ich einige hierher gehörige Versuche, welche ich mit Nachbildern angestellt habe, vorlegen.

Der Grundgedanke, welcher mich bei diesen Versuchen leitete, war folgender. Wenn man durch längere Betrachtung eines Objects die Netzhaut in dem Grade gereizt hat, dass nach Entfernung des Objectes, oder nach Verschluss der Augen, die Erregung fortwirkt, so darf man erwarten, dass das Nachbild dem Vorbilde in so weit gleiche, als die Bedingungen des sinnlichen Vorganges

dieselben geblieben. Erscheint uns das Nachbild in irgend einer Beziehung anders als sein Vorbild, so muss sich in der Constellation der Bedingungen etwas geändert haben, und wird es von wissenschaftlichem Interesse sein, diesen Bedingungen nachzuforschen. So lange die Veränderungen nur qualitativer Art sind (wie beim Auftreten der Complementärfarben), liegt es nahe, die Veränderung der Bedingungen lediglich in einer Veränderung der sensibeln Elemente selbst zu suchen, und wie vieles Dunkle auch das Abklingen der Blendungsbilder hat, so ist doch dieser Wechsel der Erscheinungen in so fern nicht eben befremdlich, als nach Entfernung des äussern Reizes der Erregungszustand allmählich sich beruhigen und also durch verschiedene Stufen der Stärke hindurchgehen muss, was zu dem Auftreten verschiedener Empfindungen Veranlassung geben könnte. Beziehen sich dagegen die Veränderungen im Nachbilde auf räumliche Verhältnisse, so kann man die Bedingungen, die hier sich ändern müssen, in den sensibeln Elementartheilen nicht suchen, denn die das Nachbild bedingende Netzhautfläche ist dieselbe, welche den Eindruck des objectiven Lichtes aufnahm, von einer Veränderung ihrer Form und Grösse kann nicht die Rede sein. Hiernach scheinen diejenigen Nachbilder, welche dem Vorbilde nicht räumlich gleichen, vor allen geeignet, uns eine gewisse Einsicht in diejenigen Vorgänge zu verschaffen, welche die Raumanschauungen, die aller Erfahrung vorausgehn, zu denjenigen umbilden, welche jedem Erwachsenen und an das Objectiviren innerer Empfindungen Gewöhnten als Eigenthum zufallen. Zur Erreichung meiner Absichten war nothwendig, den Einfluss zu beseitigen, welchen die Bewegung des Kopfes auf die Lage der Nachbilder ausübt. Die Fixirung des Kopfes ist durch den in Fig. 12 abgebildeten Apparat vermittelt worden. Man denke sich

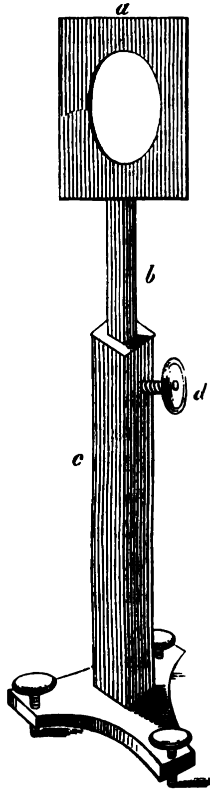


Fig. 12.

unter *a* ein Bret, in welches eine ovale Oeffnung, genau nach der Form meines Gesichtes eingeschnitten ist. Dieses Bretchen steht senkrecht auf einer viereckig gearbeiteten 3 Fuss langen Stütze *b*, für welche *c* eine Führung abgiebt. Man kann nun das Bret in der Richtung einer Senkrechten beliebig heben und senken, und ihm durch die bei *d* angebrachte Schraube eine feste Stellung geben. Die Führung aber ruht auf 3 mit Stellschrauben versehenen Füssen, wodurch eine Einstellung des Apparates nach dem Lothe ermöglicht wird. Bei Anstellung der Versuche, welche sitzend und stehend vorgenommen werden können, wird das Antlitz in die ovale Oeffnung eingeführt und erhält, namentlich durch den untern Rand des Rahmens, einen festen Halt. Hat der Kopf von vorn herein eine passende Stellung erhalten, worüber ein beistehender Assistent sein Urtheil abgiebt, so ist es nicht schwierig sie während der Dauer des Versuches beizubehalten, denn da jede kleine Bewegung ein merkliches Druckgefühl zur Folge hat, so wird der Beobachter von jeder Lagenveränderung des Kopfes in Kenntniss gesetzt und kann sie vermeiden.

Versuch 82.

Gerade vor dem Antlitz des Beobachters befindet sich eine bewegliche weisse Wand, auf welche eine senkrechte und eine wagerechte Linie so gezogen sind, dass sie sich im Mittelpunkte der Ebene kreuzen. Die Wand dreht sich in einem sie umgebenden Rahmen um eine horizontale Axe, welche das Centrum der Wandebene schneidet; und wiederum dreht sich der eben erwähnte Rahmen in einem zweiten um eine senkrechte, gleichfalls das Centrum der Wandebene schneidende Axe.

Man sieht leicht, dass man mit Hülfe dieses Apparates die relative Stellung der Wand zur Antlitz-Ebene ganz in seiner Gewalt hat. Wenn von vornherein die Ebene der Wand der des Antlitzes parallel ist, so kann man dieselbe durch eine Drehung um die Horizontale auf- oder absteigend richten und durch eine Drehung um die Verticale nach rechts oder nach links wenden. Weiter kann man durch gleichzeitige Drehung um beide Axen der Wand eine Stellung nach rechts und oben, oder nach rechts und unten, ebenso nach links und oben oder nach links und unten geben.

Der Kürze wegen sei gestattet, die Stellungen, welche durch Drehung um nur eine Axe erfolgen, *einfache* zu nennen, dagegen die Stellungen, welche durch gleichzeitige Drehung um beide Axen vermittelt werden, *complicirte Stellungen*.

Ferner wird zur Anstellung des Versuches eine Tafel erfordert, auf welcher sich ein farbiges rechtwinkliges Kreuz befindet. Diese Tafel muss sich mit Leichtigkeit an der mit der senkrechten Antlitzfläche parallelen Wand so aufhängen lassen, dass die beiden Kreuze, der Wand und der Tafel, sich decken.

Soll nun ein Versuch angestellt werden, so wird die Tafel in der eben erwähnten Weise aufgehangen, und der Beobachter fixirt seinen Kopf mit Hülfe des vorerwähnten Apparates (Fig. 12) so, dass eine vom Mittelpunkte der Grundlinie der Augen bis zum Mittelpunkte des Kreuzes gezogene Gerade sowohl auf der Ebene des Antlitzes als auf der Ebene der Wand normal steht. Man betrachtet nun unter Benutzung beider Augen das farbige Kreuz so lange als zur Hervorrufung eines Nachbildes erforderlich ist, entfernt es hierauf, und fixirt, nachdem dies geschehen, das Centrum des auf die Wand verzeichneten Kreuzes. Im Fortgange der Versuche wird die Stellung der Wand mittels Drehung um ihre Axen in die verschiedensten Richtungen übergeführt. Die Frage geht nämlich dahin: *Wie gestaltet sich das Nachbild, wenn bei constantem Netzhautbilde und unveränderlicher Richtung der Augen die als Projectionsfläche benutzte Wand ihre Lage ändert?* Die Versuche geben hierüber folgenden Aufschluss.

1. Das gekreuzte Nachbild erscheint jedesmal rechtwinklig und aufrecht stehend, wenn die Stellung der Wand, auf welche es projicirt wird, eine *einfache* ist.

2. Das gekreuzte Nachbild erscheint dagegen als ein schiefwinkliges und seitlich geneigtes, wenn die Stellung jener Wand eine *complicirte* ist.

Ist die Lage der Projectionsfläche eine einfache, so ergiebt sich bei genauerer Betrachtung Folgendes.

a. In Folge einer Drehung der Wand um ihre horizontale Axe, gleichviel ob vorn über oder hinten über, erfährt der Stamm des

objectiven Kreuzes eine Verkürzung, dagegen der des subjectiven Kreuzes eine Verlängerung.*)

b. In Folge einer Drehung der Wand um ihre perpendiculäre Axe, gleichviel ob die Wendung links oder rechts geschieht, erfährt der Querast des objectiven Kreuzes eine Verkürzung, der des subjectiven Kreuzes eine Verlängerung.

c. Ist die Drehung der Wand um die eine oder die andere ihrer beiden Axen eine einigermaassen bedeutende, so zerfällt diejenige Linie des objectiven Kreuzes, deren beide Endpunkte in ungleiche Entfernungen vom Auge zu liegen kommen, in sich kreuzende Doppelbilder, während die entsprechende Linie des subjectiven Kreuzes einfach bleibt.

Die letzte der drei angeführten Erfahrungen ist für die physiologische Optik so wichtig, dass eine Erläuterung derselben durch ein specielles Beispiel gestattet sein dürfte. Man denke sich, die zum Auffangen des Nachbildes bestimmte Wand habe durch Drehung um ihre horizontale Axe eine starke Neigung erhalten. Wird dann im Projectionsversuche der Punkt, wo Stamm und Querast sich schneiden, also das in der Augenhöhe liegende Centrum der Wand, fixirt, so decken sich die Queräste des objectiven und subjectiven Kreuzes, nicht aber deren Stämme. Vielmehr ist der Stamm des objectiven Kreuzes in zwei Linien zerfallen, welche sich im Fixirpunkte schneiden, der Stamm des subjectiven Kreuzes dagegen ist einfach geblieben und liegt in der Mitte der Doppelbilder.

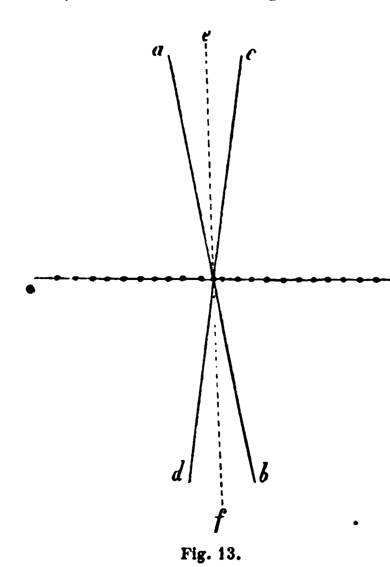


Fig. 13.

Die beistehende Figur dient zur Versinnlichung des Gesagten. Die Raumlage des subjectiven Kreuzes oder Nachbildes ist durch

*) Das auf die weisse Wand mit schwarzen Linien verzeichnete Kreuz nenne ich das objective, das gekreuzte Nachbild nenne ich das subjective.

Punkte, die des objectiven Kreuzes durch Linien dargestellt und bedeuten demnach *ab*, *cd* die Doppelbilder. Hat man die in der Figur abgebildete Erscheinung hervorgerufen und schliesst das eine Auge, so verschwindet (selbstverständlich) das eine Doppelbild, und das Nachbild dreht sich um den Fixirpunkt, in der Weise, dass sein Stamm an die Stelle tritt, wo das Doppelbild verschwunden ist. So verschwindet bei Verschluss des rechten Auges das Doppelbild *cd* und rückt *ef* an seine Stelle.

Versuch 83.

Ich habe bisher nur die Erscheinungen besprochen, welche eintreten, wenn die Stellung der Projectionsfläche eine einfache ist. Hat aber die Wand, auf welche das Nachbild projicirt wird, eine complicirte Lage, so erscheint das Nachbild eines stehenden und rechtwinkligen Kreuzes immer liegend und schiefwinklig, wobei folgende Gesetze gelten:

a. Ist die Wand nach unten und links (vom Beobachter) gerichtet, so neigt der Stamm des gekreuzten Nachbildes nach rechts, und der Querast erhebt sich von links und unten nach rechts und oben.

b. Ist die Wand nach oben und links gerichtet, so neigt der Stamm nach links, und der Querast steigt von rechts und unten nach links und oben.

c. Ist die Wand nach unten und rechts (vom Beobachter) gerichtet, so neigt der Stamm des gekreuzten Nachbildes nach links, und der Querast steigt von links und oben nach rechts und unten.

d. Ist endlich die Wand nach oben und rechts gerichtet, so neigt der Stamm nach rechts und der Querast erhebt sich von links und unten nach rechts und oben.

Die vier Hauptlagen der Projectionsfläche bedingen also für das Nachbild nur zwei Hauptformen. Die Lagen *a* und *d* einerseits und *b* und *c* andrerseits entsprechen sich in ihren Wirkungen.

Versuch 84.

Eine erwähnenswerthe Modification des vorigen Versuches ist folgende. Ein Cylinder, welcher die Welle für eine Rotationsbe-

wegung abgeben soll, ist unter einem Winkel von 45° durchgesägt. An die hierdurch entstandene eiförmige Schnittfläche ist eine weisse Platte zur Aufnahme des Nachbildes befestigt. Die Welle dreht sich in einer horizontalen Hülse, und verändert hiermit die Richtung der vom Beobachter fixirten Platte.

Man sieht, dass es nur einer Umdrehung der Welle bedarf, um diese Platte, deren geschwärzter Drehpunkt zum Fixiren benutzt wird, durch die gesammte Reihe der einfachen und complicirten Stellungen hindurch zu führen. Geschieht dies mehr langsam als schnell, so verändert sich die Gestalt des Kreuzes unablässig, was den sehr auffallenden Anschein einer Bewegung der Arme des Kreuzes zur Folge hat. Wird dagegen die Rotation sehr schnell ausgeführt, dass die viereckige Platte den Anschein einer Scheibe gewinnt, so geht die Bewegung der Arme des Kreuzes verloren und das Nachbild erscheint in Gestalt eines stehenden und rechtwinkligen Kreuzes.

Versuch 85.

Eine Röhre 8 Zoll lang und 1 Zoll im Lichten ist an dem einen Ende unter einem Winkel von 45° so durchgeschnitten, dass eine eiförmige Schnittfläche entstanden. Die ovale Oeffnung ist durch eine ebene Wand aus weissem Papier verschlossen. Die andre, kreisförmige Oeffnung der Röhre ist durch ein im Centrum durchbohrtes Diaphragma ebenfalls verschlossen. Die eben beschriebene Röhre steckt aber in einer zweiten, welche in horizontaler Richtung an einem passenden Gestell befestigt ist, und kann daher um ihre Axe gedreht werden.

Auf diese Weise entsteht ein Apparat, welcher dem im vorigen Versuche benutzten ganz analog ist. Der Beobachter projicirt das Nachbild durch den Diopter auf die schiefliegende Papierwand und verändert die Lage der letztern durch Drehung der Ocularröhre um ihre Axe. Nun wird, wie in Versuch 84, eine einzige Umdrehung der als Welle dienenden Röhre ausreichen, die Projectionsfläche durch die gesammte Reihe der einfachen und complicirten Stellungen hindurch zu führen; gleichwohl wird das Nachbild des aufrechtstehenden und rechtwinkligen Kreuzes durch die Axendrehung der Röhre nicht verändert. Es erscheint bei je-

der Stellung der Projectionsfläche aufrechtstehend und rechtwinklig, und macht also mit seinen Armen keine Bewegungen. Dies kann nur daran liegen, dass die schiefe Richtung der Papierwand, welche zum Auffangen des Nachbildes dient, im vorliegenden Falle gar nicht zur Wahrnehmung kommt. Nach Aussage der Empfindung hat man eine Fläche vor sich, welche von der optischen Axe rechtwinklig geschnitten wird.

Versuch 86.

Die Stellung der weissen Wand (dieselbe welche in Vers. 82 und 83 benutzt wurde) ist eine complicirte. Das Nachbild des rechtwinkligen farbigen Kreuzes erscheint also schiefwinklig. Betrachtet man dagegen die Wand monocular durch eine etwa 8 Zoll lange und 1 Zoll weite Röhre in so geringer Sehweite, dass nur ein Theil derselben sichtbar ist, so erscheint das Kreuz rechtwinklig. Man braucht nur das zweite bis dahin verschlossene Auge zu öffnen, um den Anschein der Schiefwinkligkeit sofort wieder herzustellen. Die Verschiedenheit der Erscheinungen im monocularen und binocularen Versuche ist offenbar davon abhängig, dass man in einem Falle die Raumlage der Wand wahrnimmt, im andern Falle nicht wahrnimmt. Die durch die Röhre betrachtete Wand macht den Eindruck einer Ebene, welche die optische Axe rechtwinklig schneidet.

Versuch 87.

Das Nachbild wird statt auf eine ebene auf eine gebrochene Fläche projicirt, welche ich in folgender Weise hergestellt habe. Ein mit weissem Papier überzogenes hölzernes Prisma ist in drei Stücke zerschnitten und sind diese Stücke in der Weise auf eine weisse Tafel geleimt, dass sie in der Form eines Dreiecks zusammenstossen. Die beistehende Figur wird dies deutlicher machen.

Meine Absicht war zu untersuchen, welchen Einfluss die gebrochene Fläche auf die Gestaltung des Nachbildes habe. Die vorhergehenden Versuche haben gelehrt, dass die Richtung der Linien des Nachbildes von der Richtung der Flächen abhängt, auf welche sie projicirt werden, und ergiebt sich aus Versuch 82 und 83,

dass jede andere Richtung der Projectionsfläche, vorausgesetzt dass sie wahrnehmbar sei, eine andere Richtung der Linien im Sehfelde bedinge.

Hiernach war vorauszusetzen, dass das Nachbild des Kreuzes auf der gebrochenen Projectionsfläche in gebrochenen Linien zur Anschauung komme. Dies bestätigt sich indessen nicht. Mag man die gebrochene Fläche halten wie man wolle, und mag man einen Punkt derselben fixiren welchen man wolle, die Linien des Nachbildes erscheinen unter allen Umständen vollkommen gerade.

Während also die Geradlinigkeit des Nachbildes durch die gebrochene Fläche, auf welche es projicirt wird, keine Störung erfährt, können die Winkel, unter welchen Stamm und Querast des Kreuzes sich schneiden, ihre Grössen ändern. Nennen wir die Platte, auf welche die Prismen aufgeklebt sind (Fig. 14. *A B C D*) die Grundfläche, so ist die Grösse der Winkel und die Neigung des Kreuzes von der Stellung der Grundfläche abhängig. Die Gesetze der Abhängigkeit sind aber dieselben, welche für die nicht gebrochene oder ebene Projectionsfläche in Vers. 82 und 83 erörtert wurden, und genügt es daher, auf das oben Bemerkte verwiesen zu haben.

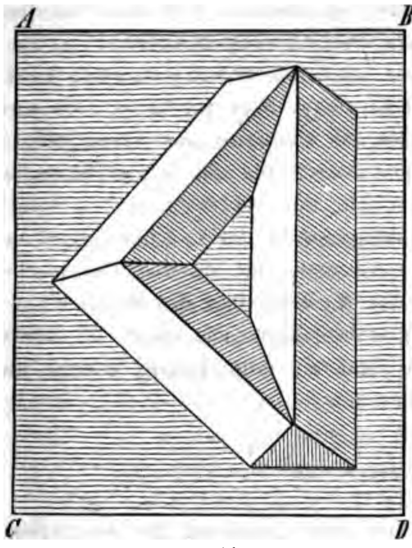


Fig. 14.

§ 78. Versuche wie die vorstehenden sind in sofern schwierig, als das schnelle Schwinden des Nachbildes eine unbequeme Eile im Beobachten unvermeidlich macht. Eine Beobachtung von Wundt, deren Unrichtigkeit offenbar in der zu kurzen Andauer der Nachbilder ihren Grund findet, veranlasste mich, auf ein Verfahren zu sinnen, welches diese Bilder permanent machte. Es bedurfte keiner langen Ueberlegung um das Gesuchte zu finden,

nd ich will die von mir angewandte Methode an einem concreten alle erläutern.

Wir haben im Vorhergehenden durch Betrachtung eines tehenden rechtwinkligen Kreuzes Netzhautelemente gereizt, welche n rechtwinklig gekreuzten Linien liegen, und welche das Nachbild dadurch bedingen, dass sie auch nach Entfernung der objectiven Lichtquelle noch eine kurze Zeit erregt bleiben. Die Aufgabe ist, dieselben Netzhautelemente constant zu reizen. Dies geschieht, wenn man zwischen dem farbigen Kreuze, welches zur Erweckung des Nachbildes dient, und dem Auge zwei Fäden, einen senkrechten und einen wagerechten so ausspannt, dass sie sich mit dem Kreuze decken, denn nach Entfernung des farbigen Kreuzes bleibt das Netzhautbild des Fadenkreuzes übrig, welches nicht schwindet. Wird nun das Bild des Fadenkreuzes auf eine Wand projicirt, die hinter ihm liegt, so ist es von der Richtung dieser Wand, d. h. von der einfachen oder complicirten Stellung der Projectionsfläche genau in derselben Weise abhängig wie das Nachbild.

Bei Anstellung derartiger Versuche ist nur zu beachten, dass das zwischen der Wand und dem Auge befindliche Fadenkreuz sich nicht zu sehr als Object geltend mache und dadurch das Erkennen der Stellung, welche die Projectionsfläche einnimmt, verhindere. Sehr zweckmässig ist, sich eines Röhrchens von 2 Zoll Länge und 1 Zoll Weite zu bedienen, dessen eines Ende mit einem Fadenkreuze, das andere mit einem Diaphragma und feinem Diopter versehen ist. Die Nähe des Kreuzes am Auge hat zur Folge, dass man nicht sowohl die Fäden selbst als deren Schatten wahrnimmt, und die Kleinheit des Diopters vermindert die Irradiation und macht das Bild deutlicher. Fixirt man nun die Wand mit beiden Augen, während das eine derselben durch die Röhre sieht, so erblickt man einen gekreuzten Schatten auf der Wand, und erkennt gleichzeitig die Richtung der letzteren.

Der durch das Fadenkreuz bedingte Schatten ist das vollständige Aequivalent unsers gekreuzten Nachbildes, und kann man daher mit Hülfe des eben erwähnten Röhrchens die unter Nr. 82 bis 87 besprochenen Versuche mit grösster Musse und ohne alle Anstrengung des Auges anstellen. Ich will indess bemerken, dass mir unter übrigens gleichen Umständen die Formverände-

rungen des Nachbildes grösser erscheinen als die des Schattenbildes, was, wenn sich die Beobachtung bestätigen sollte, davon abhängen dürfte, dass die Stellung der Wand durch das Vorhalten des Röhrchens vor das eine Auge an Deutlichkeit verliert.

Wie das Schattenbild das Aequivalent des Nachbildes ist, so ist es selbstverständlich auch das Aequivalent eines primären Bildes, d. h. eines Bildes, welches durch das von einem Objecte ausgehende Licht nach optischen Gesetzen entstanden ist. Der Stamm meines Schattenkreuzes ist daher mit Rücksicht auf die Lage der Fäden, welche den Schatten werfen, als das Bild eines vor dem Auge aufgehangenen Lothes zu betrachten, und muss demnach die Richtung eines Lothes eben so abhängig von der Projectionsfläche sein, als die des Stammes meines Schattenkreuzes. Dies bestätigt sich auch. Wenn ich vor der in Versuch 84 beschriebenen schiefliegenden Drehscheibe ein Loth aufhänge, und monocular den Drehpunkt der Platte fixire, so verändert sich während der Rotation der Scheibe die Richtung des Lothes. Es neigt bald nach links bald nach rechts, wie es die complicirte Stellung der Projectionsfläche mit sich bringt.

Versuch 88.

Die zum Auffangen des Nachbildes bestimmte Wand liegt in einer der Antlitzfläche parallelen Ebene und behält während der Dauer des Versuchs diese Stellung. Die Aufgabe besteht diesmal darin, das Nachbild des stehenden rechtwinkligen Kreuzes durch Veränderung der Augenstellung in verschiedene Orte der Wand zu projiciren. Im Anschluss an die bereits eingeführte Terminologie will ich einfache und complicirte Augenstellungen unterscheiden. Gehen die Augenbewegungen entweder in senkrechter oder in wagerechter, und zwar in einer dieser Richtungen ausschliesslich vor sich, so sollen die hieraus resultirenden Augenstellungen einfache heissen. Kommen dagegen die Augenbewegungen in diagonaler Richtung zu Stande, so werde ich von complicirten Stellungen sprechen.

Das Resultat der Versuche geht dahin: das Nachbild des stehenden und rechtwinkligen Kreuzes ist bei allen einfachen Augenstellungen ein stehendes und rechtwinkliges, bei allen complicir-

ten Augenstellungen ein mehr oder weniger liegendes und schiefwinkliges. Die vier Hauptfälle, welche vorkommen können, sind folgende:

a. Sieht man nach links und unten, so neigt der Stamm des gekreuzten Nachbildes nach rechts, und der Querast erhebt sich von links und unten nach rechts und oben.

b. Sieht man nach links und oben, so neigt sich der Stamm des Nachbildes nach links, und der Querast steigt von rechts und unten nach links und oben.

c. Sieht man nach rechts und unten, so neigt sich der Stamm nach links, und der Querast erhebt sich von rechts und unten nach links und oben.

d. Sieht man nach rechts und oben, so neigt der Stamm nach rechts, und der Querast steigt von links und unten nach rechts und oben.

Ich will der Vollständigkeit wegen noch hinzufügen, dass das Abweichen des Stammes vom Lothe und des Querastes von der wagerechten Richtung mit der Grösse der Winkelbewegungen der Augen zunehmen.

Die Resultate des Versuches entsprechen im Wesentlichen denen, welche wir erhielten, als das Auge ruhte und die Projectionsfläche ihre Stellung änderte. Dies kann nicht befremden, denn ob die Sehaxe mit der Projectionsfläche oder diese mit jener einen bestimmten Winkel bildet, ist für die optischen Verhältnisse gleichgültig.

Andrerseits ist unverkennbar, dass die Erscheinung des Nachbildes auch von der Augenbewegung als solcher abhänge, denn die Verwandlung des stehenden und rechtwinkligen Kreuzes in ein liegendes und schiefwinkliges, ist in den beiden Versuchsreihen von sehr ungleicher Grösse. Wenn die Augen die complicirte Bewegung ausführen, während die zum Auffangen des Nachbildes bestimmte Wand ruht, ist die schiefe Lage des letztern weit auffälliger, als wenn bei ruhenden Augen die Projectionsfläche sich bewegt und die complicirte Stellung herbei führt.

Versuch 89.

Das Nachbild des stehenden rechtwinkligen Kreuzes wird bei geschlossenen Augen unter dem Einflusse verschiedener Augen-

stellungen betrachtet. Der Versuch lehrt, dass das gekreuzte Nachbild bei jeder beliebigen Augenstellung rechtwinklig erscheint, aber nur bei einfachen Stellungen aufrecht stehend, bei complicirten Stellungen mit seitlicher Neigung. Ist das Auge nach rechts und oben oder nach links und unten gewendet, so neigt sich der Stamm des Kreuzes nach rechts; ist dagegen das Auge nach links und oben oder nach rechts und unten gerichtet, so neigt sich derselbe nach links.

Versuch 90.

Die Lage der Wand ist wie in Versuch 88. Ich projicire das Nachbild auf dieselbe bei complicirter Augenstellung, halte aber vor das eine und ausschliesslich benutzte Auge eine 8 Zoll lange und 1 Zoll weite Pappröhre. Nun gestalten sich die Erscheinungen nicht wie in Versuch 88, sondern wie in Versuch 89, d. h. das Nachbild bleibt trotz der complicirten Augenstellung rechtwinklig. Merkwürdiger Weise behält aber der Stamm des Kreuzes seine seitliche Neigung, wodurch sich der gegenwärtige Fall von dem analogen Nr. 86 wesentlich unterscheidet.

Dass in den zwei letzten Versuchen das gekreuzte Nachbild trotz der complicirten Augenstellung rechtwinklig erscheint, hängt offenbar damit zusammen, dass weder das Schattenfeld, noch die durch die Röhre betrachtete Wand, sich als schiefliegende Flächen geltend machen. In beiden Fällen glaubt man ein Gesichtsfeld vor sich zu haben, auf welchem die Sehaxe senkrecht steht.

Versuch 91.

Die Lage der weissen Wand ist wie in Versuch 88. Ich projicire das Nachbild des aufrecht stehenden rechtwinkligen Kreuzes (genauer seinen Kreuzungspunkt) an einen Ort der Tafel, welcher mit Schwarz notirt und so gewählt ist, dass er die Augen zu einer complicirten, im Uebrigen aber beliebigen Stellung nöthigt. Unter diesen Umständen erscheint das gekreuzte Nachbild liegend und schiefwinklig (Versuch 88). Nun notire ich mit Bleistift die vier Endpunkte des projicirten Kreuzes, und befestige auf der Wand zwei farbige Streifen in der Richtung dieser Punkte.

Nachdem dies geschehen, bemühe ich mich, meinem Kopfe, der Wand gegenüber, die alte Stellung zu geben. Dies hat keine Schwierigkeit, da einerseits der Apparat, welcher zur Fixirung des Kopfes dient (Fig. 12), unverrückt geblieben, andrerseits das Centrum der Wand, welches genau in der Augenhöhe und gerade nach vorn stehen soll, durch Anbringung eines schwarzen Punktes kenntlich gemacht ist. Hat der Kopf seine richtige Lage wieder gewonnen, so fixire ich das durch den Vorversuch gegebene farbige Kreuz so lange, bis ein Nachbild entstanden, und experimentire mit diesem. Hierbei findet sich:

a. Sobald ich die Augen schliesse, erscheint das Nachbild des schiefwinkligen Kreuzes rechtwinklig, gleichviel welche Stellung die Augen annehmen.

b. Bei geschlossenen Augen erscheint das Kreuz aufrecht stehend bei einfachen, dagegen liegend bei complicirten Augenstellungen, und zwar nach der in Versuch 88 angegebenen Gesetzlichkeit. Hieraus ergiebt sich von selbst, dass Convergenz- und Divergenz-Bewegungen der Augen, in wiefern sie in der Horizontalebene beider ausgeführt werden, an der Erscheinung nichts ändern.

c. Wenn ich die offenen Augen über die Fläche der Wand hin und her irren lasse, so ändern sich Form und Kreuzungswinkel des Nachbildes unablässig, und erscheint bei jeder Augenstellung das Nachbild des schiefwinkligen Kreuzes genau so, als ob es durch die Betrachtung eines rechtwinkligen aber gerade vor den ruhenden Augen gelegenen hervorgerufen worden wäre.

Diese Gleichheit der Erscheinungen beruht auf einer Gleichheit der Causalverhältnisse. Das schiefwinklige Kreuz, welches wir bei complicirter Augenstellung betrachteten, hat dieselben Netzhautelemente gereizt, welche gereizt wurden, als wir ein stehendes und rechtwinkliges Kreuz mit ruhenden und gerade nach vorn gerichteten Augen fixirten.

Wenn die vorhergehenden Versuche bewiesen, dass dasselbe Netzhautbild zu den verschiedensten Raumanschauungen Veranlassung geben könne, so zeigt der eben angestellte, dass Objecte von nicht blos scheinbar, sondern wirklich verschiedenen Raumverhältnissen ein und dasselbe Netzhautbild bedingen können.

Es ist einleuchtend, dass das schiefwinklige Kreuz, dessen ich mich zur Erzeugung des Nachbildes bediente, auf der Netzhaut durch ein rechtwinkliges repräsentirt war.

Versuch 92.

Auf einer grössern schwarzen Wand befindet sich die Abbildung einer Tafel, wie solche an öffentlichen Plätzen aufgestellt werden, um Verordnungen der Behörden zur Kenntniss des Publicums zu bringen. Die Tafel ist so dargestellt, als ob sie mit der Antlitzfläche des Beobachters einen Winkel bildete. Ihr linker Rand steht dem Auge scheinbar ferner als der rechte, und ebenso erscheint der obere Rand derselben ferner als der untere. Diese nach den Gesetzen der Pespective gezeichnete Tafel ist mit den Worten: *Fridericus secundus*, *Rex Borussiae* beschrieben. Die Buchstaben sind grosse lateinische Initialen und haben die Formen, welche ihnen der Perspective gemäss zukommen. Eine ungefähre Vorstellung des Ganzen giebt die beistehende Figur. Die Wand mit der auf ihr dargestellten Tafel wird in einer der Antlitzfläche parallelen Ebene so aufgestellt, dass der Beobachter, um die Schrift zu lesen, das Auge um etwa 30° senkrecht erheben muss. Das farbige rechtwinklige Kreuz wird in der Augenhöhe an ihr aufgehangen und eine Zeit lang fixirt.

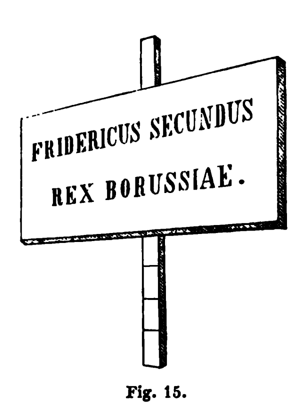


Fig. 15.

Ist nun das Auge hinreichend gereizt, so projicirt man das Nachbild auf die beschriebene Tafel und erhält merkwürdiger Weise ein schiefwinkliges Kreuz mit einer Neigung des Stammes nach links. Diese Form und Lage müsste nach Versuch 88 *b* das Kreuz haben, wenn die Tafel wirklich die Lage hätte, welche die Zeichnung nur fingirt; dagegen sollte das Kreuz in Betracht, dass die Stellung des Auges (senkrecht nach oben) zur Klasse der einfachen gehört, rechtwinklig und im Stamme senkrecht erscheinen. Nicht unbemerkt bleibe, dass die Professoren Knoblauch und Welcker und einer meiner Söhne den in

Rede stehenden Versuch bestätigt haben und Form wie Lage des Kreuzes, noch ehe sie den Zusammenhang der Erscheinung erkannt hatten, richtig angaben.

Versuch 93.

Das Bild einer Wand, von complicirter Stellung, wird durch einen Spiegel in mein Auge geworfen. Der Spiegel liegt in einer dem Antlitz parallelen Ebene, und das zum Fixirpunkt benutzte Centrum der Wand erscheint in der Augenhöhe. Hiernach ist sowohl dem Spiegel als dem Auge eine einfache Stellung gegeben. Nur die Stellung der imaginären Wand im Spiegelbilde ist eine complicirte. Wenn ich nun das Nachbild eines rechtwinkligen Kreuzes mit dem Centrum des Wandbildes zur Deckung bringe, so sehe ich ein schiefwinkliges Kreuz. Auch in diesem Versuche hat eine imaginäre Projectionsfläche den Einfluss einer wirklichen.

Versuch 94.

Eine weisse Wand steht gerade vor den Augen in einer dem Antlitz parallelen Ebene. Durch den Punkt, welcher im Projectionsversuche fixirt werden soll, ziehe ich zwei schwarze Linien, eine senkrechte und eine wagerechte. Das Nachbild wird wieder durch Betrachtung eines aufrechtstehenden rechtwinkligen, gerade vor den Augen befindlichen Kreuzes gewonnen, und in allen Versuchen ist die Richtung der Projection eine complicirte.

Meine Absicht war diesmal die Vorgänge des monoculären und binoculären Sehens zu vergleichen. Hierzu war die Herstellung eines Apparates nothwendig, welcher das auf die Wand geworfene Nachbild fixirte. Ich werde die zu diesem Zwecke benutzte Vorrichtung, welche freilich Manches zu wünschen übrig lässt, in einem spätern Abschnitte näher beschreiben und beschränke mich jetzt auf Angabe einiger hinreichend gesicherter Hauptpunkte.

1. Beim binoculären Sehen erscheint das objective Kreuz (die durch den Fixirpunkt gezogenen schwarzen Linien) bei starker Verdrehung der Augen im Doppelbilde. Die Zerfällung der einfachen Linien in zwei tritt für die horizontale viel früher ein als für die lothrechte.

2. Beim binocularen Sehen erscheint das gekreuzte Nachbild nie im Doppelbilde.

3. Bei monocularen Versuchen hat die seitliche Neigung des Kreuzes, in Uebereinstimmung mit Versuch 88, für jedes der beiden Augen einen andern Werth. Die Neigungswinkel sowohl des Stammes als des Querastes im Nachbilde sind für dasjenige Auge grösser, welchem die anstrengendere Bewegung zufällt, also grösser für das Auge, welches abseits vom fixirten Punkte liegt.

4. Bei binocularen Versuchen ist die seitliche Neigung des Kreuzes unter übrigens gleichen Umständen weder so gross wie die von dem einen Auge, noch so klein wie die von dem andern Auge bedingte, sondern liegt, der Grösse nach, zwischen beiden.

Ich glaube die letzten beiden Sätze trotz der sehr mangelhaften Genauigkeit meiner Messungen vertreten zu können. Ich habe 24 Versuchsreihen angestellt, deren jede 10 Beobachtungen mit dem linken, eben so viele mit dem rechten, und abermals eben so viele mit beiden Augen enthält. Mein dritter Lehrsatz bestätigt sich in sämmtlichen 24 Beobachtungsreihen, mein vierter in 19.

Versuch 95.

Ich operire statt mit Nachbildern mit Schattenbildern in der oben beschriebenen Weise (§ 78). Die Röhre mit dem Fadenkreuze ist in horizontaler Richtung an einem Gestelle in der Weise befestigt, dass sie sich unmittelbar vor dem Auge des Beobachters befindet, und dass der Stamm des Kreuzes ein für alle Mal im Lothe liegt.

Zum Auffangen des Schattenbildes dient eine weisse Papptafel, deren eine Seite aller Merkzeichen entbehrt, während die andere mit einem doppelten System senkrechter und wagerechter Linien, von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll Distanz, bezogen ist. Diese Tafel betrachte ich durch die Röhre monocular in einer Nähe, bei welcher mir die freien Ränder und Ecken derselben verborgen bleiben, und findet sich dann Folgendes:

Ist die rein weisse Seite der Tafel das Object der Beobachtung, so erblickt man unter allen Umständen ein aufrecht stehendes senkrechtes Kreuz, d. h. die Stellung der Tafel, mag sie

eine einfache oder complicirte sein, ändert nichts an der Erscheinung.

Wird dagegen, unter übrigens gleichen Umständen, die linirte Seite der Tafel betrachtet, so ändert sich das Ansehn des Kreuzes mit der Stellung der letzteren. Das rechtwinklige Faden-Kreuz scheint schiefwinklig, wenn die einfache Stellung der Tafel in eine complicirte übergeht.

Die Ungleichheit des Erfolges in beiden Fällen hängt offenbar damit zusammen, dass die Tafel, von der rein weissen Seite betrachtet, in jeder Raumlage als eine zur optischen Axe normal stehende erscheint, während die linirte Seite durch die Verschiebung, welche ihre senkrechten und wagerechten Linien vorkommenden Falls erfahren, auf die bezügliche Raumlage der Projectionsfläche aufmerksam macht.

Versuch 96.

A. Erster Fall.

Die Bedingungen des Versuchs bleiben die vorigen, nur das Object der Beobachtung wird verändert. Als solches ist eine weisse Tafel gegeben, welche in einer der Antlitzfläche parallelen Ebene liegt, und welche in dieser Ebene von links nach rechts oder umgekehrt verschoben werden kann. Auf diese Tafel sind zwei Kreuze gezeichnet, ein aufrechtstehendes rechtwinkliges, und ein liegendes schiefwinkliges. Bei der Beschränkung des Sehfeldes kann immer nur eines dieser Kreuze durch die Röhre übersehen werden, doch kann man, durch Verschiebung der Tafel, beliebig das eine oder das andere ins Sehfeld bringen. Wird nun das senkrechte Kreuz vorgeschoben, so deckt sich dieses mit dem Schattenkreuze, vorausgesetzt natürlich, dass Tafel und Röhre eine Lage haben, welche die Deckung nicht optisch unmöglich macht. Wird dagegen das schiefwinklige Kreuz ins Sehfeld gebracht, so lässt sich nicht nur keine Deckung erzielen, wie selbstverständlich, sondern das Schattenkreuz erscheint nun auch schiefwinklig, aber im umgekehrten Sinne wie das Kreuz der Tafel. Die zu grossen Winkel des objectiven Kreuzes entsprechen nämlich der Lage nach den zu kleinen Winkeln des Schattenkreuzes. Ich erläutere dies durch bei-

stehende Figur, in welcher *a b c d* das Kreuz der Tafel, dagegen *a' b' c' d'* das Schattenkreuz, also das Aequivalent des Nachbildes bedeutet.

B. Zweiter Fall.

Wenn man auf eine drehbare Wand, wie die in Versuch 82 benutzte, ein aufrechtstehendes senkrechtes Kreuz zeichnet, und die Wand nach unten und links (vom Beobachter) oder nach oben und rechts dreht, so erscheint das Kreuz liegend und schiefwinklig, wie *abcd* in vorstehender Figur. Projicirt man nun auf eine Wand, welche die eine oder andere der eben bemerkten Stellungen einnimmt, das Nachbild eines stehenden rechtwinkligen Kreuzes, so erscheint dieses ebenfalls liegend und schiefwinklig, nur im umgekehrten Sinne, so wie *a' b' c' d'* in Fig. 16.

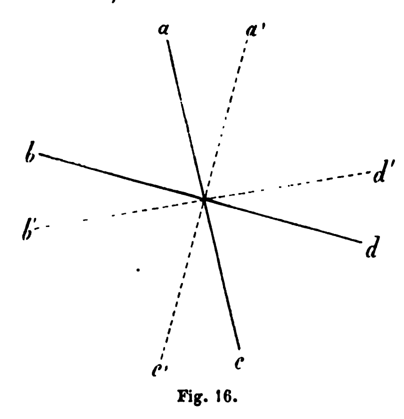


Fig. 16.

Es scheint mir unzweifelhaft, dass zwischen beiden Fällen ein innerer Zusammenhang stattfinde. In *B* hängt die Neigung und Schiefwinkligkeit des Nachbildes von der Lage der Projectionsfläche ab (vgl. Versuch 82*a*). In *A* sind dieselben Raumverhältnisse des (durch Schatten vertretenen) Nachbildes von dem als Object gegebenen schiefwinkligen Kreuze *a b c d* abhängig. Aber dieses schiefwinklige Kreuz ist der Erscheinung nach identisch mit dem aus Gründen der Projection schiefwinklig scheinenden, an sich rechtwinkligen Kreuze der nach links und unten oder nach rechts und oben gedrehten Wand in *B*, und scheint eben deshalb die Vorstellung einer Projectionsfläche von gleicher Raumlage begründen zu können.

Ist diese Auffassung richtig, so würde der unter *A* beschriebene Fall nochmals auf den Einfluss imaginärer Projectionsflächen zurückweisen, und ginge die psychologische Verwickelung dann noch einen Schritt weiter.

Versuch 97.

Das in Versuch 95 beschriebene Instrument hat eine kleine Veränderung erfahren. Der Stamm des Fadenkreuzes ist durch zwei senkrechte Parallelfäden von etwa 6^{mm} Distanz ersetzt worden, während der Querast nach wie vor durch einen einfachen horizontalen Faden repräsentirt ist. Ich sehe demnach zwei Kreuze, deren Queräste sich berühren. Zum Auffangen des Schattenbildes dient ein weisses gleichseitiges Prisma aus Pappe, dessen Seiten eine Breite von 80^{mm} haben. Dieses Prisma steht zunächst senkrecht vor den Augen, mit der einen scharfen Kante nach der Nasenwurzel gerichtet. Ich fixire diese Kante mit beiden Augen, so jedoch, das sich vor dem rechten die oben beschriebene Röhre befindet. Nun kommen die Schattenbilder der beiden senkrechten Parallelfäden auf zwei verschiedene Flächen des Prima's zu liegen, der linke Faden wird auf die linke, der rechte dagegen auf die rechte Fläche projicirt.

Geschieht dies, so erscheinen die beiden senkrechten Fäden parallel und der horizontale Faden ungebrochen.

Dreht man hierauf das Prisma in der Medianebene des Körpers um eine horizontale Axe in der Weise, dass sich sein oberes Ende vom Beobachter entfernt, so ändert sich die Erscheinung. Der Parallelismus der senkrechten Fäden geht verloren, sie divergiren nach oben. Dagegen bleibt der horizontale Faden ungebrochen.

Dreht man das Prisma in umgekehrter Richtung, also in der Weise, dass sich sein unteres Ende vom Beobachter entfernt, so divergiren die beiden senkrechten Fäden nach unten, und der horizontale bleibt wieder ungebrochen.

Die Resultate dieses Versuches sind mit den bereits vorgelegten Erfahrungen in vollständiger Uebereinstimmung. Dass der horizontale Faden, obschon er auf eine gebrochene Fläche projicirt wird, seine Richtung nicht ändert, entspricht der in Vers. 87 ermittelten allgemeinen Regel. Was aber die Störung des Parallelismus der beiden senkrechten Fäden bei eintretender Neigung des Prisma's anlangt, so erklärt sie sich daraus, dass jeder Faden auf eine anders gestellte Fläche projicirt wird und in Folge dessen die von der Projectionsfläche geforderte Neigung annimmt.

Denn wenn beispielsweise das Prisma mit dem oberen Ende abwärts gedreht wurde, so ist seine linke Fläche nach links und oben, die rechte dagegen nach rechts und oben gerichtet. Als complicirte Flächen verändern sie die Lage einer senkrechten Linie in eine scheinbar schiefe. Das auf die linke Fläche projicirte Nachbild der Senkrechten neigt nach links, das auf die rechte Fläche projicirte nach rechts (Versuch 82), und folglich divergiren die Parallelen scheinbar nach oben.

Interessant, obschon aus allem Vorhergehenden vorauszusehen, ist noch folgende Erscheinung. Das Prisma, auf welches das Schattenbild projicirt wird, behält die angegebene in der Medianebene des Körpers geneigte Lage, dagegen wird das Röhrchen, in welchem die beiden parallelen und senkrechten Fäden angebracht sind, um seine Axe gedreht. Nun bleiben die Fäden des Nachbildes so lange divergent, als jeder derselben auf eine andere Fläche projicirt wird; in dem Momente aber, wo sie in Folge der Drehung der Röhre die scharfe Kante des Prisma's kreuzen und demnach auf beide Flächen projicirt werden, verschwindet die Divergenz, die Schattenfäden erscheinen als zwei gerade parallele Linien von schiefer Richtung.

Versuch 98.

Ich bediene mich des im vorigen Versuche beschriebenen

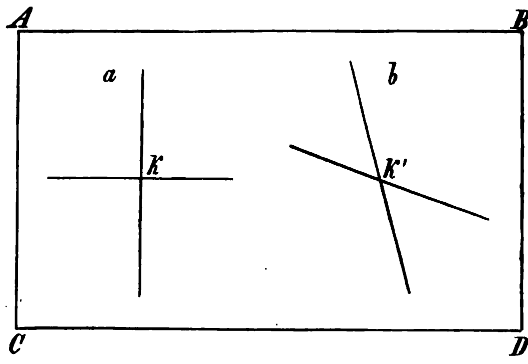


Fig. 17.

Röhrchens mit zwei lothrechten und einem wagerechten Ocularfaden. Zum Auffangen des Schattenbildes dient ein weisses Kartenblatt $ABCD$, auf welches linkerseits ein stehendes rechtwink-

liges Kreuz, rechterseits ein liegendes schiefwinkliges verzeichnet ist. Dieses Blatt bringe ich gerade vor die Augen, in eine solche Entfernung, dass die beiden Kreuzungspunkte der Ocularfäden sich mit den beiden Kreuzungspunkten k k' der Figur decken. Nun erscheinen die beiden senkrechten Schattenlinien nicht mehr parallel, sondern divergiren nach oben sehr merklich. Dass keine Täuschung obwalte, wird dadurch unzweifelhaft, dass beim Umdrehen des Kartenblattes, wodurch dieselbe Figur, welche bis jetzt rechts lag (also b) nach links verlegt wird, die Senkrechten nach oben convergiren.

Eine genaue Prüfung lehrt, dass von den beiden senkrechten Schattenlinien, die auf der Seite des rechtwinkligen Kreuzes befindliche sich mit dem Stamme des letzteren decke. Nur die andere Senkrechte, auf der Seite des schiefwinkligen Kreuzes, hat eine Neigung nach rechts erhalten. Da nun ein schiefwinkliges Kreuz, wie das in b verzeichnete, in sofern auf eine complicirte Projectionsfläche hinweist, als die wagerechten und senkrechten Linien, mit deren Hülfe wir uns im Raume orientiren, in einer nach links und unten, respective nach rechts und oben gewandten Ebene, gerade die Richtungen annehmen, welche den Stamm und den Querast des b-Kreuzes kennzeichneten — und da zweitens eine Projectionsfläche, welche die Richtung nach links und unten oder nach rechts und oben hätte, das Nachbild einer Senkrechten in eine nach rechts neigende Diagonale transformiren müsste (vgl. Versuch 82), so scheint erlaubt anzunehmen, dass die Störung des Parallelismus im gegenwärtigen Versuche von dem Einflusse einer imaginären Projectionsfläche abhänge.



Fig. 18.

Bekanntlich hat schon Zöllner Fälle mitgetheilt, in welchen der Parallelismus eines Liniensystemes durch das gleichzeitige Dasein noch anderer Linien verwischt wird; es scheint mir von Wichtigkeit, dass auf alle diese Fälle das soeben

aufgestellte Erklärungsprincip anwendbar ist. Es sei gestattet, dies an einer der ZÖLLNER'schen Constructionen nachzuweisen.

Die vier Senkrechten *A B C D* (Fig. 18) erscheinen nicht parallel, vielmehr neigen *A* und *C* anscheinend nach rechts, *B* und *D* dagegen anscheinend nach links. Die entgegengesetzte Neigung ist offenbar von der entgegengesetzten Richtung der schiefen Hülfslinien abhängig. Nun gehören aber die von rechts und unten nach links und oben steigenden Hülfslinien in *A* und *B*, wie im Vorhergehenden erörtert, zu Projectionsflächen, welche gesetzlicher Weise das Nachbild einer Senkrechten nach rechts ablenken, und die von links und unten nach rechts und oben aufsteigenden Hülfslinien in *B D* gehören zu Projectionsflächen, welche die entgegengesetzte Ablenkung bedingen.*)

§ 79. Obschon die im Vorstehenden beschriebenen Versuche nichts wesentlich Neues enthalten, so scheint es mir doch, dass ihre Verbindung zu einem grossen und gegliederten Ganzen und ihre unverkennbare Beziehung auf bestimmte und wichtige Fragen Vortheile gewähren, welche so vereinzelte Erfahrungen, wie die bis jetzt vorliegenden, nicht zu bieten vermögen. Untersuchen wir also, was sich aus dem nun übersichtlich vorliegenden Material folgern lasse.

Die von einem constanten Netzhautbilde ausgehende Raumanschauung ist keine constante, sondern eine höchst variable. Sie ist abhängig von der Stellung der Projectionsfläche zum Auge oder umgekehrt des Auges zur Projectionsfläche. Eine imaginäre Stellung der letztern hat denselben Einfluss wie eine reale.

Mit Rücksicht auf letztgenannten Punkt ist weiter zu fragen: was bedingt die scheinbare Lage der Projectionsfläche, welche ihrerseits wieder die räumliche Erscheinung des Netzhautbildes bedingt?

Die scheinbare Lage der Projectionsfläche wird durch das Dasein oder Nichtdasein von Eindrücken bestimmt, deren Beziehung zum Räumlichen nur durch Erfahrungen verständlich

*) Erwähnt werde, dass Herr Dr. ZÖLLNER die unter 96 und 97 vorgelegten Versuche bestätigt, und nun ebenfalls geneigt ist anzunehmen, dass seine schiefen Hülfslinien dunkle Vorstellungen von Projectionsflächen hervorrufen, welche gerade die Neigungen der Senkrechten, welche in der Figur auftreten, nach sich ziehen.

wird. Hierher gehören die Verschiebungen gewisser Linien, mit deren Hülfe wir uns im Raume orientiren, die Muskelgefühle beim Fixiren und Accommodiren, die scheinbaren Grössen im Gegensatz zu den uns bekannten wirklichen, die Abstufungen der Lichtintensität und die mit der Entfernung abnehmende Deutlichkeit der kleinsten erkennbaren Theile. Alle Tiefenanschauungen sind erworbene, und nur hieraus wird begreiflich, wie die objective Lage einer Projectionsfläche durch eine imaginäre verdrängbar sei. Man kann auf eine gerade vor den Augen befindliche Wand eine Tafel zeichnen, welche dem Auge complicirt erscheint, und erreicht dies dadurch, dass man die Contoure und die Schattirungen nachahmt, die sich als die Prädicate einer Tafel von complicirter Stellung erfahrungsmässig ergeben haben.

Wenn wir eine Fläche monoculär und durch eine enge Röhre in der Weise betrachten, dass nur ein kleiner Theil derselben wahrnehmbar bleibt, so kann nicht befremden, dass die Erkenntniss der Raumlage verloren gehe, denn wir vernichten bei diesem Verfahren den Einfluss der Umstände, welche der Beurtheilung der Raumlage zu Grunde liegen. Bemerkenswerth scheint mir dagegen, dass die Beseitigung der Umstände, welche die Tiefenanschauung bestimmen, ohne Ausnahme eine Projectionsfläche herbeiführt, welche sich als eine zur Blickrichtung normal stehende Ebene darstellt. Eine solche Fläche negirt nicht blos gewisse Raumlagen, welche objectiv gegeben sind, sondern substituirt ihnen auch eine andere mit positiven Merkmalen. Es fragt sich also, woher dieses Positive komme, beispielsweise, warum die Projectionsfläche unter solchen Umständen als Ebene auftrete und nicht als Kugelfläche.

Ich bin geneigt anzunehmen, dass dieser positive Inhalt durch die primitive und ihrer Natur nach extensive Empfindung der Netzhaut unmittelbar gegeben sei. Mag diese Netzhautempfindung sein welcher Art sie wolle, so muss sie doch irgend einer der überhaupt producirbaren Anschauungen gleich sein. Ich meine nun die räumliche Anschauung eines Auges, welches aller Erfahrung entbehrt, ist derjenigen gleich, welche es nach vollendeter Lehrzeit dann hat, wenn es eine senkrecht vor ihm stehende Ebene betrachtet. Man darf annehmen, dass die Empfindung, welche wir haben, wenn wir die Augen schliessen (das Schwarze also,

wenn alles Licht abgehalten wird, und das Rothe, wenn die Augenlider viele Strahlen durchlassen) sich von dem Einflusse der Erfahrung freier als irgend eine andre gehalten haben, und diese Empfindung entspricht allerdings der, welche wir haben, wenn wir eine gerade vor den Augen gelegene Ebene betrachten. Stellt man sich mit geschlossenen Augen der Sonne gegenüber, so meint man einen vor den Augen befindlichen rothen Vorhang zu erblicken.

Ich bin daher der Ansicht, dass das Sehfeld vor aller Erfahrung als Ebene erscheine. Dem entgegen meint Nagel, es erscheine als Kugelfläche. Irre ich nicht, so beruht seine Ansicht darauf, dass sensible Elementartheile, welche noch nicht die Fähigkeit erworben haben, ihr Empfinden in eine den objectiven Verhältnissen entsprechende und eben deshalb verschiedene Entfernung nach aussen zu tragen, ihr Empfinden in gleiche Weite nach aussen projiciren müssten. Aber abgesehen davon, dass das Projiciren nach aussen, also das Objectiviren subjectiver Zustände, kein primitiver Vorgang ist, lässt sich nicht behaupten, dass mit der Abwesenheit aller Bestimmungsgründe, welche in unsern Netzhautempfindungen verschiedene, den objectiven Raumlagen entsprechende Tiefenanschauungen hineintragen, eine für alle Elementartheile g l e i c h e Tiefenanschauung, oder in gleiche Entfernungen reichende Projection zufallen müsse. Denn gleiche Entfernungen sind nicht minder positive als ungleiche, die Wahrnehmung der einen wie der andern bedarf der Motive.

Bei der Unmöglichkeit, in der wir uns befinden, primitive Empfindungen in uns selbst hervorzurufen, bleibt, wie schon oben bemerkt, nichts übrig, als uns durch sorgfältigste Entfernung aller empirischen Bestimmungsgründe dem Primitiven möglichst zu nähern, und aus der Art, wie sich die Anschauungen hierbei umgestalten, auf ihr ursprüngliches Verhalten vorsichtig zu folgern.

Nach den vorgelegten Versuchen scheint mir die Annahme, dass das Sehfeld von vorn herein als Ebene erscheine, die am besten gerechtfertigte. Hiermit ist auch der Anblick des Himmelsgewölbes nicht in Widerspruch. Zwar könnte man sagen, bei der Betrachtung des gestirnten Himmels fehle es an empirischen Haltpunkten für die Tiefenanschauung gänzlich, weil die Entfernungen der Gestirne für das Auge unmessbar sind, und eben weil

alle empirische Haltpunkte fehlten, sei die Form des Gewölbes für eine objectiv unmotivirte und primitiv geforderte zu halten. Aber diese Auffassung ist erweislich falsch. Wenn wir den Himmel aus einem engen Hofe oder durch zwei sich trichterförmig erweiternde kurze Röhren betrachten, erscheint derselbe selbst dann als Ebene, wenn der ins Sehfeld fallende Abschnitt mehr Grade umspannt, als zur Wahrnehmung eines Bogens erforderlich sind.

Die Erscheinung des Himmels als eine Hohlkugel beruht auf Vorstellungen, die ihrerseits selbst wieder auf Erfahrungen beruhen. Zahlreiche Erfahrungen haben uns belehrt, dass die Gestirne im Zenith hoch über uns stehen, andrerseits berühren Himmel und Erde sich scheinbar im Horizonte, und scheint demnach der Himmel zur Tiefe des uns tragenden Bodens herabzusteigen. Beseitigen wir die Wahrnehmung des Horizontes, der zunächst die Vorstellung eines Oben und Unten im Himmelsraume, und durch diese secundär die Auffassung des Sehfeldes als eines Gewölbten hervorruft, so erscheint der Himmel als Ebene.

Mag aber das Sehfeld dem Neugeborenen erscheinen wie es wolle, so ist kein Zweifel, dass die Projectionsfläche dem Erwachsenen im Lichte der von ihm gesammelten Erfahrungen erscheine. Die Lage der Projectionsfläche erscheint uns so, wie wir sie unter gleichen oder scheinbar gleichen Sinneseindrücken erfahrungsmässig befunden haben.

§ 80. Nachdem sich ergeben, dass die Raumverhältnisse der im Sehfelde enthaltenen Bilder von der Lage der Fläche abhängen, in welche wir sie projiciren, ist das Gesetz zu suchen, nach welchem die Projectionsfläche ihren Einfluss geltend mache. Zwar ist bei den einzelnen Versuchen bereits angegeben worden, wie sich die Bilder gestalten, wenn die Projectionsfläche nach links und oben, oder nach rechts und unten u. s. w. gerichtet ist, aber mit diesen Angaben ist noch kein allgemeiner Ausdruck gefunden. Meine Versuche beweisen, dass es einen derartigen Ausdruck überhaupt nicht gebe und ich möchte gerade hierauf Gewicht legen.

Allgemeingültig scheint mir nur folgender Satz: Wenn wir unter dem Eindrucke eines Nachbildes eine Fläche betrachten, so nimmt das Flächenbild das Nachbild in sich auf, d. h. das Nachbild präsentirt sich wie eine in der Fläche ausgeführte Zeichnung.

Nun ist aber diese eine Bestimmung der Raumanschauung nicht ausreichend, denn da sich in derselben Fläche die verschiedensten Figuren construiren lassen, so fragt sich weiter, nach welchem Gesetze diese Construction erfolge.

Wenn nun wahr wäre, was neuerlich vielfach behauptet worden, dass jeder Netzhautpunkt seine Empfindung durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien geradlinig nach aussen projicirte, so wäre das Gesetz der Construction, welches wir vermissten, allerdings gefunden. Indess ist die Voraussetzung unrichtig und mit den von mir vorgelegten Erfahrungen durchaus unvereinbar. Man beachte Folgendes.

Der Hypothese zufolge coincidiren die Richtungslinien des Sehens oder die Projectionslinien mit den Richtungslinien des Lichtes. Demnach müssen wir zwischen den optischen Vorgängen einerseits und den Empfindungsvorgängen andrerseits einen widerspruchslosen Zusammenhang fordern. Ein solcher besteht jedoch nicht, wie schon vereinzelte Erscheinungen des monoculären Sehens beweisen.

Wie der optische Vorgang sich nicht ändert, so lange die Lage der Lichtquelle einerseits und die der beleuchteten Fläche andrerseits constant bleiben, so müsste der Empfindungsvorgang so lange sich gleich bleiben, als die Lage der Empfindungsquelle einerseits und der Projectionsfläche andrerseits keine Veränderung erfahren.

Dem entgegen fand sich, dass dasselbe Netzhautbild bei constanter Stellung des Auges und constanter Lage nicht nur der wirklichen, sondern auch der scheinbaren Projectionsfläche bald ein aufrechtstehendes und rechtwinkliges, bald ein liegendes und schiefwinkliges Kreuz zur Anschauung bringt. Die Construction des Nachbildes einer gegebenen Projectionsfläche ist von dem Dasein oder Nichtdasein einiger so oder anders gerichteten Linien im Sehfelde abhängig, eine Bedingung welche auf den optischen Vorgang ohne Einfluss ist.

Hierauf ist um so mehr Gewicht zu legen, als Incongruenzen zwischen der Räumlichkeit des Netzhautbildes und der Räumlichkeit des Phantoms nicht blos in der Sphäre des subjectiven, sondern auch des objectiven Sehens vorkommen (Versuch 95, 96 und Erfahrungen).

Beim binoculären Sehen ist die Unzulässigkeit der sogenannten Projectionstheorie in weit grösserer Ausdehnung nachweisbar. Das von beiden Augen abhängige Nachbild entspricht weder dem vom linken noch dem vom rechten Auge allein abhängigen, sondern zeigt Raumverhältnisse, welche zwischen den beiden durch monoculäres Sehen bedingten die Mitte halten (Versuch 82 und 94). Nun ist leicht zu zeigen, dass ein solches Mittelding in der Erscheinung mit den theoretischen Voraussetzungen unvereinbar ist.

Angenommen jeder Punkt der Netzhaut trüge seine Empfindung geradlinig durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien in die Projectionsfläche, so wäre der Gang der Projection in jedem gegebenen Falle mit Präcision nachweisbar. Man brauchte nur auf experimentellem Wege die Punkte der Projectionsfläche zu bestimmen, welche sich mit dem subjectiven Bilde decken, um zur Erkenntniss der Orte zu gelangen, in welchen die nach aussen wandernde Empfindung schliesslich sich niederlassen müsste. Untersuchen wir einen gegebenen Fall nach diesem Grundsatze, und beginnen mit der Analyse der Monoculärversuche.

Das Nachbild einer senkrechten Linie wird auf eine Fläche projicirt, welche von vorn herein der Antlitzfläche parallel lag, dann aber durch Drehung um eine horizontale Axe eine derartige Neigung erhalten hat, dass ihr oberer Rand dem Beobachter entfernter liegt als ihr unterer.

Fig. 19.

Schliesst man das linke Auge und experimentirt monoculär mit dem rechten, so deckt sich das Nachbild mit der objectiven Linie *ab*, welche ihren Verlauf von links und oben nach rechts und unten nimmt. Experimentirt man dagegen monoculär mit dem linken Auge, so deckt sich das Nachbild mit der objectiven Linie *cd*, welche von rechts und oben nach links und unten verläuft. Demnach wäre *ab* der Ort, in welchen das rechte Auge seine Empfindung localisiren müsste, und *cd* wäre der entsprechende Ort für das linke Auge.

Wenn dies nun wirklich ein Naturgesetz wäre, so müsste das Phantom im binoculären Versuche sich gleichzeitig mit *ab* und *cd* decken, also im gekreuzten Doppelbilde erscheinen.

Der Versuch lehrt aber, dass es sich weder mit dem einen noch mit dem andern decke, sondern scheinbar in der Mitte beider, wie *ef*, liege, und einfach erscheine.

Untersuchen wir mit Hülfe derselben Methode die Projection im binoculären Versuche, so ergiebt sich, dass in der vorerwähnten, geneigten Projectionsfläche, in welcher die nach aussen wandernde Empfindung angeblich Halt macht, eine Linie, welche die Deckung mit dem Nachbilde zuliesse, überhaupt nicht existirt. Jeder Versuch, dem einfachen linearen Nachbilde eine einfache Linie in der Projectionsfläche zu substituiren, scheitert an dem Auftreten von Doppelbildern.

§ 81. Es ist also vorläufig nicht möglich, den Einfluss, welchen die Raumlage der Projectionsfläche auf die Gestaltung des Nachbildes ausübt, aus einem einfachen physikalischen Principe abzuleiten. Der Grund hiervon liegt hauptsächlich darin, dass alles räumliche Sehen ebensowohl von einem Erworbenen als einem Angeborenen abhängt, und dass die Beziehungen dieser zusammengesetzten Function zu ihren beiden Gliedern noch ziemlich unklar sind.

Hiermit kehrt die Untersuchung zu ihrem Ausgangspunkte zurück. Es handelt sich wieder um die Grenzen des Angeborenen und Anerzogenen. So wenig nun auch davon die Rede sein kann, dass die von mir vorgelegten Erfahrungen die Grenzstreitigkeiten erledigten, so dürften sie doch über die Bezüglichkeit gewisser Erscheinungen auf das eine oder andere Glied der zusammengesetzten Function manche Aufklärung geben.

Beim Tasten verhält sich die Empfindung zum Objecte fast wie das Siegel zum Petschaft, beim Sehen kann von einem solchen Verhältnisse gar nicht die Rede sein. Zwischen der Räumlichkeit der Gesichtsanschauungen und der Räumlichkeit der gereizten Netzhautelemente besteht nur selten Uebereinstimmung. Wie ein Nachbild, welches in der Erregung bestimmter Netzhauttheilchen seinen constanten Grund hat, auf einer veränderlichen Projectionsfläche die verschiedensten Umwandelungen erfährt, so können wirkliche Gegenstände in ihren räumlichen Verhältnissen höchst verschieden sein und scheinen, und doch gleiche Netzhautbilder veranlassen. Beispielsweise fand sich in Versuch 91, dass das Netzhautbild eines schiefwinkligen Kreuzes dem eines rechtwink-

ligen gleich war und doch als schiefwinkliges empfunden wurde. Die Gleichheit der Netzhautbilder, trotz der Ungleichheit der Dinge, welche sie darstellen, hat denselben Grund wie die Ungleichheit der Netzhautbilder, welche einem und demselben Dinge entsprechen. In beiden Fällen ist der scheinbare Widerspruch zwischen Grund und Folge aus der Veränderung der Projectionsverhältnisse erklärlich.

Der Mangel an Uebereinstimmung zwischen der Räumlichkeit des Netzhautbildes und der Räumlichkeit des durch die Anschauung gegebenen Bildes ist also nicht etwa ein exceptioneller, sondern vielmehr der gewöhnlichste aller Fälle. Hieraus ergiebt sich einigermaassen der enorme Umfang des Erworbenen im Gegensatze zum Angeborenen. Die räumliche Anschauung accommodirt sich, unter Preisgebung ihrer Uebereinstimmung mit dem Netzhautbilde den objectiven Raumverhältnissen, und nur die Erfahrung vermag diese Accommodation herbeizuführen.

Aus dem Vorhergehenden dürfte erhellen, dass die Anwendung der in § 75 besprochenen Lehrsätze Müller's und Weber's die grösste Vorsicht erfordere. Wenn wir das Nachbild eines aufrechtstehenden und rechtwinkligen Kreuzes je nach Maassgabe der Projection bald in Uebereinstimmung mit dem Netzhautbilde aufrechtstehend und rechtwinklig, bald im Widerspruche mit demselben liegend und schiefwinklig erblicken, so passt dies weder zu der Angabe Müller's, dass die Lage jedes Lichtpunktes im Sehfelde von der Lage des beleuchteten Punktes auf der Netzhaut abhänge, noch zu der Lehre Weber's dass die scheinbare Distanz zweier Punkte sich nach der Anzahl der zwischen denselben gelegenen Empfindungskreise richte.

Dieser Mangel an Uebereinstimmung zwischen den aufgestellten Behauptungen und den Thatsachen ist nur darauf beziehbar, dass Müller und Weber von dem Einflusse der Erfahrung auf die Raumanschauungen ganz abstrahirten. Beide beabsichtigten den Einfluss darzustellen, welchen die Organisation der Netzhaut auf die Raumanschauungen von vorn herein habe, und darf daher gar nicht beansprucht werden, dass Lehrsätze, welche ausdrücklich für diese und nur für diese Einflüsse berechnet waren, gleichzeitig auf die Fälle passen, welche nebenbei noch von andern Einwirkungen, und zwar von den empirischen Errungenschaften

abhängen. Ich möchte glauben, dass manche Einwürfe, welche gegen Weber und Müller, besonders aber gegen letztern und seine Lehre von der Identität der Netzhäute erhoben worden, nur darauf beruhe, dass man ihre Grundsätze auf Fälle anwandte, auf welche sie im Sinne der Verfasser gar nicht beziehbar sind.

§ 82. Dass das räumliche Sehen eine zusammengesetzte Function sei, deren eines Glied von der Erfahrung, das andere von dem Baue der Netzhaut abhänge, kann nach den vorgelegten Versuchen kein Zweifel sein. Anlangend das letzte Glied, welches die uns angeborene Thätigkeit umfasst, so ergiebt sich aus den mitgetheilten Thatsachen

Erstens: Ob die gleichzeitige Erregung beider Augen eine einfache oder eine doppelte Empfindung bedinge, hängt nicht von den Erfahrungen, sondern von der ursprünglichen Beschaffenheit der in Erregung gesetzten Netzhautelemente ab.

Hierher gehört die Thatsache, dass wir das Nachbild einer senkrechten Linie, welches wir auf eine schiefliegende Fläche projiciren, einfach sehen, obschon in dieser Fläche eine Linie, welche sich mit dem gegebenen Nachbilde decken könnte, gar nicht existirt. Sie erscheint einfach an einem Orte, wo, wenn sie wirklich da läge, sie nur im Doppelbilde gesehen werden könnte. Sie erscheint also in einer Weise, welche den von uns gemachten Erfahrungen direct widerspricht. Hiernach bleibt nichts übrig als anzunehmen, dass die Nervenelemente, welche bei Fixirung einer senkrechten Linie in dem einen und dem andern Auge getroffen werden, functionell zusammengehören und eine räumlich einfache Erscheinung bedingen.

Dieser Schluss, welchen ich in der Theorie vom Sehen mit zwei Augen für maassgebend halte, ist von Wundt in Frage gestellt worden.*) Er beruft sich auf folgenden Versuch.

Man befestige 4 parallele verticale Streifen farbigen Papiers auf complementärem Grunde in solche gegenseitige Entfernung, dass jedem Auge zwei Streifen geboten werden, und dass zugleich die Distanz zwischen den Streifen beider Augen eine verschiedene ist.

---

* Zeitschrift für rat. Med. XII. S. 235.

Es seien also z. B. a, b Fig. 20, A, die Streifen für das linke Auge, a', b' die für das rechte Auge. Man halte nun zwischen die Augen eine Scheidewand, um die Bildung von Doppelbildern zu

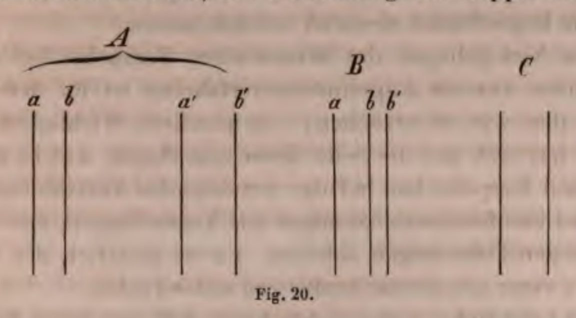


Fig. 20.

verhindern, und fixire a und a' so lange, bis man Nachbilder von hinreichender Dauer erhalten hat. Dann schiebe man vor den farbigen Bogen einen grauen und fixire auf diesem einen zuvor markirten Punkt. Man erhält dann, wenn die Distanz a' b' die von a b hinreichend übertrifft, ein Nachbild B als Sammelbild der in A beobachteten Streifen. Hierauf drehe man die Ebene B um eine Axe, welche durch das gemeinsame Nachbild a geht, indem man den rechts von a gelegenen Theil der Ebene vom Auge wegdreht. Jetzt sieht man die Nachbilder b b' zusammenrücken und bei einer mittleren Entfernung sich vereinigen, so dass man ein Nachbild C hat, bei dem sowohl a und a' als b und b' zusammenfallen.

Dieser Versuch beruht auf einer Täuschung, die offenbar damit zusammenhängt, dass Wundt Nachbilder von hinreichender Dauer nicht zu erzielen vermochte, und dass, während er seinen Hintergrund drehte, um die Lage zu finden, wo b und b' seiner Meinung nach verschmelzen müssen, schon ein Wettstreit der Sehfelder eintrat. In dieser Periode, wo die beiden Augen nicht mehr gleichzeitig fungiren, mussten freilich statt dreier Linien nur zwei auftreten, und Wundt bezieht diese zwei Linien fälschlich auf eine Verschmelzung.

Um die angegebene Fehlerquelle zu beseitigen habe ich die flüchtigen Nachbilder, nach dem in § 78 erörterten Principe, zu permanenten gemacht. Ich ersetzte nämlich Wundt's farbige Streifen durch feine schwarze Fäden, welche ich über einen Rahmen spannte und vor einem weissen Hintergrunde betrachtete. Hier-

bei fand sich, dass weder die Entfernung noch die Lage der Wand auf das Phänomen der drei Fäden irgend welchen Einfluss hatte, ein Resultat, welches nach den wohlbegründeten Erfahrungen über die Doppelbilder erwartet werden musste.

Das Nichtgelingen des WUNDT'schen Versuches bei Anwendung eines exacten Experimentalverfahrens ist für den Gegenstand, den wir untersuchen, von positiver Wichtigkeit. Auch WUNDT hat sich auf die Seite derer geschlagen, welche das Einfach- und Doppeltsehen in Folge anatomischer Anordnungen läugnen, und alle Raumanschauungen aus Vorstellungen, und also aus vorgängigen Erfahrungen ableiten. Es sei gestattet, den Versuch WUNDT's einer genaueren Analyse zu unterwerfen.

Sei l das linke, r das rechte Auge, BB' der bunte Papierbogen, auf welchem die complementären Farbenstreifen a, b, a' b' befestigt sind; weiter PP' der graue Papierbogen, auf welchen, unter Fixirung des auf demselben im voraus markirten Punktes α die Nachbilder projicirt werden.*) Unter diesen Umständen treten 3 Bilder bei α, β und β' auf. Dreht man dagegen den Bogen PP' um eine durch α gehende senkrechte Axe auf der rechten Seite abwärts vom Antlitz und giebt ihm die Stellung $p\,p'$, so erscheinen, angeblich, nur 2 Bilder bei α und β''.

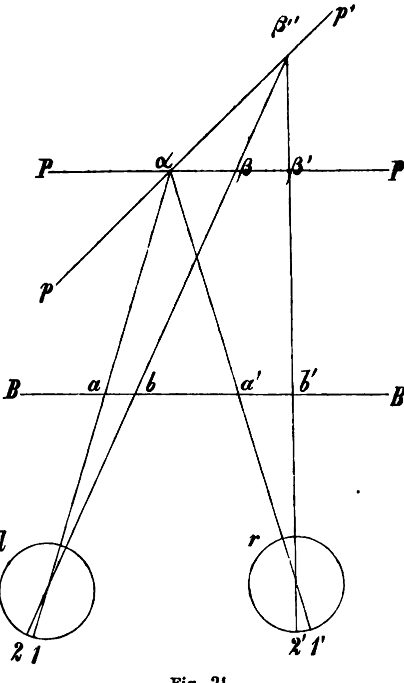


Fig. 21.

*) Für meinen Versuch bedeuten a, b', a', b' die Seidenfäden und B B' den Rahmen, über welchen dieselben gespannt sind. Hieraus ergiebt sich, dass die optischen Bedingungen beider Versuche vollkommen gleich sind.

Wäre dies richtig, so bestätigte sich auch in diesem Falle das Theorem: Jeder gereizte Netzhautpunkt sendet seine Empfindung durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien nach aussen und fixirt sie in der Projectionsfläche. Liegt die Projectionsfläche im Kreuzungspunkte der Projectionslinien (wie in $p\,p'$), so sehen wir die von dem linken und dem rechten Auge ausgehende Empfindung einfach; liegt die Projectionsfläche dagegen nicht im Kreuzungspunkte der Projectionslinien (wie in $P\,P'$ für 2, β und $2'$, β'), so sieht man doppelt.

Indess bestätigt sich die Angabe Wundt's eben nicht, wie man sich durch Substituirung von Seidenfäden an die Stelle der farbigen Streifen sehr leicht überzeugen kann.

Hiermit ist die Projectionslehre in ihrem Fundamente erschüttert, denn dass mit der Drehung der Projectionsfläche aus PP' nach pp' die Bilder $\beta\beta'$ allmählich sich nähern und schliesslich verschmelzen, liegt in den unabweislichen Consequenzen derselben.

Aus dieser Unveränderlichkeit des Dreibilder-Phänomens bei veränderter Raumlage der Projectionsfläche ergiebt sich nochmals, dass die räumliche Anschauung nach der einen Seite hin von anatomischen Anordnungen abhänge. Die in Versuch 83 und 94 besprochenen Erfahrungen beweisen, dass in den beiden Netzhäuten Elemente vorkommen, welche unbedingt einfache Empfindungen verlangen; der eben erörterte Versuch, exact durchgeführt, zeigt, dass es andrerseits Elemente gebe, welche unter allen Umständen räumlich discrete Empfindungen verlangen.

Zweitens: Eine zweite Reihe von Thatsachen, welche den Einfluss der anatomischen Anordnungen auf das räumliche Sehen erweist, ist die in Versuch 87 besprochene. Das Nachbild einer geraden Linie erscheint auf einer gebrochenen Projectionsfläche nicht gebrochen, sondern gerade. Um die Darstellung der Betrachtungen, welche sich an diese Thatsache knüpfen, zu erleichtern, will ich den unter 87 beschriebenen Versuch vereinfachen.

Versuch 99.

An einen Stab von viereckigem Querschnitt leime ich zwei Quartblätter aus weissem Carton so an, dass der untere Rand des

oberen Blattes (*A*) und der obere Rand des unteren Blattes (*B*) sich berühren, aber unter rechten Winkeln kreuzen.

Stelle ich den Stab senkrecht vor mir auf, so dass das obere Blatt *A* in einer der Antlitzfläche parallelen Ebene liegt, so sehe ich also das Blatt *B* nur von der scharfen Kante. Drehe ich dann den Stab um 45^0 um seine senkrechte Axe, so sehe ich beide Blätter verkürzt, das obere beiläufig nach links gerichtet, das untere nach rechts.

Neige ich nun den Stab mit seinem oberen Ende abwärts, so nehmen beide Blätter complicirte Stellungen an. Es ist nämlich:

A nach links und oben,
B nach rechts und oben

gerichtet. Hat der Apparat diese Stellung erhalten, so projicire ich auf denselben das Nachbild einer senkrechten geraden Linie, indem ich den Punkt, in welchem die beiden differenten Projectionsflächen sich berühren, zum Fixirpunkte benutze.

Das Resultat des monoculär ausgeführten Versuches ist, dass ich eine gerade senkrechte Linie sehe, ein Ergebniss, welches mit der in Versuch 82 ermittelten Gesetzlichkeit in directem Widerspruche steht. Auf einer nach links und oben gerichteten Fläche neigt das Nachbild einer Senkrechten immer nach links, auf einer nach rechts und oben gerichteten Fläche neigt es ohne Ausnahme nach rechts. Demnach müsste das lineare Nachbild im vorliegenden Falle gebrochen erscheinen. Es müsste vom Fixirpunkte aus nach oben (auf dem Blatte *A*) sich zur Linken neigen, dagegen vom Fixirpunkte aus nach unten (auf dem Blatte *B*) zur Rechten. Es gestattet also ein auf dieselbe Fläche projicirtes Nachbild zwei ungleiche Raumanschauungen, und ist einleuchtend, dass wenigstens eine derselben mit den Ansprüchen der Projectionstheorie unvereinbar sei.

Wenn man in monoculären Versuchen das Nachbild einer Linie in irgend welche Fläche projicirt, so kann man der nur subjectiv bedingten Linie unter allen Umständen eine objective substituiren, d. h. man kann in die Fläche ein dünnes Stäbchen, oder einen Faden so legen, dass diese und das Nachbild sich decken. Wir sehen also das Nachbild so, wie wir das ihm substituirte Object sehen, und wiederum sehen wir das Object so, wie wir es nach allen vorhergegangenen Erfahrungen über die Beziehungen

zwischen den sinnlichen Vorgängen in uns und den räumlichen Verhältnissen der Dinge ausser uns zu sehen genöthigt sind.

Da nun in der gebrochenen Fläche das Nachbild die Richtung nicht hat, welche die Lage der verschiedenen Flächentheile gesetzlich mit sich bringt, so könnte es scheinen, wir sähen das Nachbild auf der gebrochenen Fläche unter Raumverhältnissen, welche mit unsern Erfahrungen überhaupt nicht vereinbar wären. Indess verhält es sich doch anders. Man denke sich durch eine gebrochene Fläche einen Sägeschnitt geführt, so ist einleuchtend, dass die Fläche dem Auge gegenüber gewisse Stellungen einnehmen könne, wo der Schnitt sich in der Gestalt einer geraden Linie darstelle. Wenn wir das Nachbild einer geraden Linie auf eine gebrochene Fläche werfen, so sehen wir gewissermaassen den geraden Sägeschnitt, und in sofern etwas mit der Erfahrung allerdings Vereinbares. Das Merkwürdige bleibt aber, dass wir unter allen Umständen und bei jeder Stellung der gebrochenen Fläche die projicirte Linie gerade sehen, da doch der Sägeschnitt nur unter sehr wenigen und mühsam zu beschaffenden Stellungen der unebenen Fläche den Anblick einer geraden Linie gewähren würde. Eben hierin liegt die Veranlassung anzunehmen, dass die Geradlinigkeit des Nachbildes, im vorliegenden Falle, in den angeborenen Einrichtungen ihren Grund habe.

§ 83. Ich habe sachkundigen Freunden, unter welchen sich Physiker vom Fache befanden, die vorstehenden Untersuchungen mitgetheilt und wiederholt bemerkt, dass sie sich den von mir vorgelegten Erfahrungen gegenüber in Verlegenheit fühlten.

In mehreren von mir beobachteten Fällen ist der Widerspruch zwischen den räumlichen Erscheinungen, die wir haben, und denjenigen, die wir nach Maassgabe der Lichtprojection haben sollten, ganz unverkennbar, während bei weitem die meisten der von mir angestellten Versuche den Ansprüchen der Projectionstheorie zu genügen und für die Richtigkeit dieser zu sprechen scheinen. Nun kann man jene seltneren Fälle auf keinen Fall als Ausnahmen betrachten, denn Naturgesetze machen keine Ausnahmen, und drängt sich daher die Frage auf, warum entsprechen die Raumanschauungen in der ungeheuern Mehrzahl der Fälle jenem angeblichen und doch in der Natur der Dinge nicht begründeten Projectionsgesetze?

Die Antwort hierauf ist nicht sowohl schwierig als umständ-

lich und nöthigt mich noch einmal bis auf die Urzustände der Sinnenthätigkeit zurück zu gehen.

Es ist unzweifelhaft, dass das Empfinden von vorn herein mehr nicht als ein immanenter Vorgang sei und dass die Vorstellungen von einer uns äussern Welt sich nur erfahrungsmässig entwickeln. Mag immerhin die Raumanschauung eine nothwendige Form unsrer sinnlichen Thätigkeit selbst sein, so ist doch die bestimmte Beziehung, die wir derselben auf uns äussre Objecte geben, keine nothwendige. Was die Raumanschauungen des Auges im Besondern anlangt, so sehen wir weder den Ort noch die Richtung der Dinge im Raume, sondern wir empfinden den von den Dingen ausgehenden Reiz, oder noch genauer, wir empfinden in Folge dieses Reizes, und deduciren, unter Bezugnahme auf frühere Erlebnisse, aus dieser Empfindung eine Vorstellung von dem Orte und von der Richtung.

Unzählige Erfahrungen haben uns belehrt, dass die Objecte, welche auf der unteren Hälfte der Netzhaut ihre Bilder darstellen, in der Aussenwelt höher oben liegen, als diejenigen, welche mit ihrem Lichte die obere Hälfte derselben reizen. Diese Erfahrungen haben sich mit den Netzhautempfindungen zu einem untrennbaren Ganzen verbunden und wir objectiviren demnach das verkehrte Netzhautbild zu einem aufrechten Dinge. Wir haben ferner gelernt, dass wir von einem Gegenstande die unverhältnissmässig deutlichste Anschauung dann erhalten, wenn wir die Augen ihm zuwenden, diese Erfahrung verbindet sich mit der Netzhautempfindung in der Weise, dass wir das fixirte Object nicht hinter uns sondern vor uns und nicht nach links sondern nach rechts setzen, wenn wir die Stellung unsrer Augen als eine nach rechts gerichtete empfinden.

Indem unsre subjectiven Empfindungen von vorn herein alles objectiven Inhaltes entbehren, muss mit der Menge der gewonnenen Erfahrungen der Reichthum ihres objectiven Inhaltes und mit der Güte der Erfahrungen die Uebereinstimmung zwischen dem Subjectiven und Objectiven, d. h. die Zulässigkeit der unsren Anschauungen gegebenen Deutung zunehmen.

Im Allgemeinen steht es nun so, dass die unzähligen Erfahrungen, welche wir an jedem Tage über die Verhältnisse der räumlichen Welt machen, uns über die objective Bedeutung unsrer

subjectiven Empfindungen hinreichend aufklären. Hieran knüpft sich die Beantwortung der oben aufgeworfenen Frage, warum unsre Raumanschauungen in der ungeheuren Mehrzahl der Fälle dem angeblichen und doch in der Natur der Dinge nicht begründeten Projectionsgesetze entsprechen?

Das Gesetz behauptet also: jeder Netzhautpunkt projicirt seine Empfindung durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien in die Aussenwelt. Bemerken wir zunächst, dass dieser Ausdruck nur die Bedeutung eines bildlichen haben kann, und streng genommen nichts aussagt, als: wir sehen die Dinge so, als ob jeder Netzhautpunkt sein Empfinden durch den optischen Mittelpunkt des Auges nach aussen projicirte. Wären die Erfahrungen, welche uns beim Objectiviren unsrer Raumanschauungen zur Unterlage dienen, absolut zuverlässige, so wäre jener Ausdruck der Projectionslehre gerechtfertigt. Absolut zuverlässige Erfahrungen über die Raumlage der Dinge würde zu absolut richtiger Objectivirung unsrer Anschauungen führen, und würden dann die Richtungslinien des Lichtes mit den Richtungslinien des Sehens allerdings zusammenfallen.

Aber freilich sind die Erfahrungen, aus welchen wir unsre Raumvorstellungen ableiten, nur mangelhafte, und da die Vorstellungen von der Raumlage der Dinge unmöglich exacter sein können als die Beobachtungen, aus welchen sie abgeleitet wurden, so ist unvermeidlich, dass wir beim Objectiviren unsrer Raumanschauungen vielfältig irren, wie auch die Erfahrung nur zu oft bestätigt. Man sieht leicht, dass der in Frage stehende Ausdruck der Projectionslehre hiermit nicht bestehen könne, denn wenn die Projectionslinien der Empfindung mit den Richtungslinien des Lichtes nothwendig zusammenfielen, könnten Irrthümer im Wahrnehmen der Richtung nie vorkommen.*)

Aber wenn auch das Erfahrungsmaterial, aus welchem wir unsre Raumvorstellungen aufbauen, nicht zu fehlerfreien Constructionen geeignet ist, so ist es immerhin ein sehr werthvolles. Wir sind mit Hülfe desselben im Stande, uns in der räumlichen

*) Dass wir uns über den Ort der Dinge, in Folge eines Verkennens der Entfernung, unzählig oft täuschen, wird allgemein anerkannt, aber Viele scheinen zu übersehen, dass beim binoculären Sehen jeder Irrthum über den Ort einen Irrthum über die Richtung includire.

Welt zu Recht zu finden, wie der empirisch vermittelte Consens des Auges und Getastes, welche beide wieder zu den Muskelgefühlen passen, auf's unzweideutigste nachweist. Es kann also kein Zweifel sein, dass die Deutung, die wir den Gesichtsempfindungen geben, sich der Wahrheit merklich nähert, oder mit andern Worten: es ist klar, dass die Projectionslinien der Empfindung und die Richtungslinien des Lichtes in der Regel nur wenig auseinander fallen. Kurz es geschieht das ungefähr, was dem Projectionsgesetze zu Folge präcis geschehen sollte.

Wenn ich nun oben sagte, dass bei weitem die meisten Raumanschauungen dem angeblichen Projectionsgesetze entsprächen, so sollte und konnte dies nicht mehr heissen, als: die Vorstellungen, welche wir von den Raumverhältnissen der Dinge gewinnen und welche sich allen Raumanschauungen nothwendig beimischen, approximiren in der Regel hinreichend in der Wirklichkeit, um den bildlichen Ausdruck: wir sehen die Dinge, als ob wir die Empfindung durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien nach aussen trügen, als zulässig erscheinen zu lassen.

Aus dem Gesagten ist aber eben so begreiflich, dass unsre Raumanschauungen in der Mehrzahl der Fälle dem Projectionsgesetze entsprechen, als andrerseits einleuchtend, dass von mehr als einem ungefähren Zusammenstimmen Beider nicht die Rede sein könne.

Selbstverständlich wird der Grad der Uebereinstimmung in den verschiedenen Fällen ein sehr ungleicher sein, und ist also der Unterschied zwischen den genausten Wahrnehmungen, zu denen wir überhaupt kommen, und den gröbsten Irrthümern, in welche wir je verfallen, Irrthümer, welche nicht selten auf besondere physische Täuschungen, Einbildungen und dergleichen bezogen und als Fälle eigener Art betrachtet werden, nur ein relativer.

VI. Von dem Einfachsehn mit zwei Augen.

§ 84. Wenn man ein senkrechtes Stäbchen binocular betrachtet, so sieht man es, je nach der Stellung der Augen, entweder einfach oder doppelt. Man sieht das Object einfach, wenn man es fixirt, d. h. die Augen so stellt, dass sich die Sehlinien in ihm kreuzen, und man sieht es doppelt, wenn die Kreuzung jener Linien entweder vor, oder hinter dem Stäbchen vor sich geht.

Diese bekannte Erfahrung schliesst nicht nur gewisse Erklärungen des Einfachsehens mit zwei Augen von vorn herein aus, sondern macht auch auf eine Bedingung die ihm zu Grunde liegt aufmerksam.

Den ersten Punkt anlangend, so ist klar, dass man die Einheit der Erscheinung nicht auf die Einheit der Seele beziehen dürfe, so etwa, dass Reize, welche g l e i c h z e i t i g und g l e i c h a r t i g beide Netzhäute anregen, einen nicht unterscheidbaren Eindruck verursachen. Ebenso ist klar, dass die Einheit der Erscheinung nicht davon abhängig gedacht werden dürfe, dass von den beiden Augen immer nur eines auf einmal thätig sei.

Der positive Theil der angeführten Erfahrung, also der Nachweis, dass das Auftreten einfacher und doppelter Bilder von der Augenstellung abhänge, scheint zunächst zwei Auffassungen des ursächlichen Zusammenhanges zuzulassen.

Man kann erstens annehmen: beide Netzhäute enthalten Punkte, welche aus anatomischen Gründen eine einfache, oder doppelte Empfindungen bedingen, und der Einfluss der Augenstellung auf die Erscheinung beruht darauf, dass den von einem Objecte ausgehenden Richtungslinien des Lichtes bald identische, bald nicht identische Netzhautpunkte unterbreitet werden.

Man kann aber zweitens auch annehmen, dass die Alternative des Einfach- oder Doppelt-Sehens mit specifischen Netzhautelementen gar nichts zu thun habe, sondern auf Vorstellungen beruhe, nämlich auf Vorstellungen von dem einen Orte oder den zwei Orten, in welchen das subjectiv Empfundene objectiv liege, und dass die Augenstellung durch das Mittelglied der Muskelgefühle die Vorstellung des Ortes bedinge.

Die erste dieser beiden Ansichten hatte Johannes Müller durch so gewichtige Gründe gestützt, dass eine lange Reihe von Jahren der Gegenstand für erledigt gelten konnte. Indessen haben Wheatstone's Entdeckungen neue Bedenken erweckt. Nachdem dieser ausgezeichnete Physiker sich dahin erklärt hatte, dass die stereoskopischen Verschmelzungen der Identitätslehre direct widersprächen, konnte es nicht fehlen, dass die zweite Ansicht, welche der sogenannten Projectionstheorie zu Grunde liegt, wieder Freunde gewann. Panum's Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen bilden den Anfang einer Reihe von Schriften, welche mehr oder weniger für Wheatstone Partei nehmen und die Erscheinungen des binocularen Sehens von dem Zwange der identischen und differenten Punkte frei zu machen suchen.

Diese oppositionellen Bestrebungen haben Johannes Müller's Lehre erschüttert, ohne der ihr entgegengesetzten Theorie ein entschiedenes Uebergewicht verschaffen zu können. In der That scheint die Verwirrung der Ansichten, zu welcher leider auch Schleiden beigetragen*), jetzt grösser als je, und ich würde keine Neigung haben, eine fast bis zum Ueberfluss besprochene Streitfrage noch einmal aufzunehmen, wenn nicht der Besitz neuer und zuverlässiger Thatsachen mich hoffen liesse, die Angelegenheit der Erledigung näher zu bringen.

§ 85. Es scheint mir angemessen, mit der Prüfung der Projectionstheorie den Anfang zu machen. Die Fundamentalbetrachtungen derselben sind folgende:

Obschon die Gesichtsempfindungen auf immanenten Vorgängen beruhn, so verweisen sie uns doch auf ein Aeusseres. Niemand kann sich dem Zwange entziehn, die Gesichtsempfin-

*) M. J. Schleiden, Zur Theorie des Erkennens durch den Gesichtssinn. Leipzig, 1861.

dungen zu objectiviren, woran sich sofort der Zwang des Localisirens derselben anreiht. Denn unmöglich kann man eine Empfindung in die Aussenwelt setzen, ohne sie in einem bestimmten Orte derselben unterzubringen. Wenn beide Augen ihre Empfindungen in demselben Orte localisiren, so kann das Object nicht anders als einfach erscheinen, während umgekehrt Doppelbilder auftreten müssen, wenn jedes Auge seinen Empfindungen einen andern Ort anweist. Die Frage nach dem Einfach- und Doppelt-Sehen ist also nur dadurch lösbar, dass man das Gesetz des Localisirens der Empfindungen im äussern Raume nachweist.

Die Anhänger der Projectionslehre stellen nun folgende zwei Grundsätze auf:

1) Jeder erregte Netzhautpunkt projicirt sein Empfinden in der Richtung einer geraden, den optischen Mittelpunkt des Auges schneidenden Linie in die Aussenwelt. Man unterlasse nicht zu bemerken, dass hiernach die Richtungslinien des Sehens mit den Richtungslinien des Lichts zusammenfallen, eine Behauptung, welche für die Kritik der in Frage stehenden Lehre von grösster Bedeutung ist.

2) Die Empfindung wird in den Kreuzungspunkt der Richtungslinien des Sehens oder der Projectionslinien verlegt.

Um sich von der Unhaltbarkeit dieser Lehre zu überzeugen, braucht man nur auf die Consequenzen derselben einen Blick zu werfen. Wären die eben erwähnten Sätze richtig, so müssten wir erstens stets einfach sehn, d. h. die Doppelbilder, deren Erklärung wir suchten, dürften gar nicht existiren; zweitens aber könnten Irrungen beim Localisiren der Empfindungen gar nicht vorkommen, vielmehr müsste der scheinbare Ort mit dem wirklichen stets zusammenfallen.

Statt ihre unhaltbaren Grundsätze Preis zu geben, haben die Anhänger der Projectionslehre versucht, dem schwankenden Gebäude durch äussere Stützen zu Hülfe zu kommen. Niemand hat in dieser Richtung wohl mehr Fleiss entwickelt, als NAGEL *). Er verändert zunächst den unter 2) angeführten Fundamentalsatz dahin: Jedes Auge localisirt sein Empfinden in seine, von Ge-

*) Dr. A. NAGEL, Das Sehen mit zwei Augen. Leipzig u. Heidelberg 1861.

stalt kugelförmige, Projectionsfläche, und beide Projectionsflächen schneiden sich im Kreuzungspunkt der Sehaxen. Nun sollen Empfindungen, welche in die Durchschnittslinie der Projectionsflächen fallen, einfach erscheinen müssen, weil für diese Durchschnittslinie selbst nur ein Ort im Raume gegeben ist, dagegen sollen Empfindungen, welche ausserhalb der Durchschnittslinie in die Kugelflächen projicirt werden, doppelt erscheinen, weil sie in discrete Orte zu liegen kommen. — An dieser neuen Fassung des Gesetzes ist anzuerkennen, dass sie die vorher unmöglich gemachten Doppelbilder in's Dasein zurückruft, aber nicht zugeben kann ich, dass die Doppelbilder durch die von Nagel herbeigezogenen Projectionsflächen eine hinreichende Begründung erhalten.

Es ist unzulässig zu behaupten, dass wir unsre Empfindungen in kugelförmige Projectionsflächen localisiren, denn wir localisiren sie, wenn auch nur approximativ, in der Weise, wie die objectiven Raumverhältnisse es fordern. Da wir einen geraden Stab nicht in der Gestalt eines Bogens und eine Tischplatte nicht in der Gestalt einer Backschüssel sehn, so fehlt jeder Grund zu behaupten, dass wir unsere Empfindungen in kugelförmige Flächen localisiren.

Es ist auffallend, dass Nagel nicht bemerkt, wie derartige Widersprüche zwischen den Raumanschauungen und seiner Localisationstheorie ungefähr eben so oft vorkommen, als wir die Augen öffnen. Er nimmt aus den unzähligen hierher gehörigen Fällen einen vereinzelten heraus, als wenn er eine Ausnahme bildete, und beschönigt die ihm unbequemen Phänomene durch eine neue Hypothese. Der Fall ist folgender.

Wenn man geradeaus in die unendliche Ferne sieht, und etwa 10 Zoll weit von den Augen zwei Nadeln so aufsteckt, dass die Sehaxen sie schneiden, so sieht man das bekannte drei Bilder-Phänomen. Das Merkwürdige für Nagel ist aber, dass man die Nadeln als nahe liegende Objecte auffasst und nicht in die unendliche Ferne verlegt, wie seine Theorie beanspruchen müsste. Nagel sucht nun den Grund der Erscheinung darin, »dass uns eine Projection in weite Ferne, mit starker Vergrösserung, nicht geläufig sei. Um diesem Dilemma zu entgehen, änderten wir die Vorstellung der Richtung der Augen und nähmen an, sie stünden convergent, während sie in Wirklichkeit parallel stehen. Dies

scheine leichter zu sein, als eine falsche Vorstellung von den Grösse und Entfernung der Nadeln anzunehmen.« —

Ich finde nun erstlich nicht bestätigt, dass man die Stellung der Augen wesentlich missdeute, vielmehr bin ich mir in dem angeführten Versuche einer Einstellung der Augen auf ein sehr Fernes deutlich bewusst. Zweitens hat die scheinbare Nähe der Nadeln mit der angeblichen Schwierigkeit der Projection in weite Entfernung und der dann gebotenen Zunahme der scheinbaren Grösse nichts zu schaffen, denn wenn man beim Lesen einen Finger zwischen das Buch und die Augen hält, sieht man die Doppelbilder ebenfalls näher als das Buch, also nicht in der Projectionsfläche, sondern vor derselben, obschon ihre Entfernung vom Auge in diesem Falle eine äusserst geringe ist. Aber am entschiedensten wird NAGEL's Erklärung durch eine kleine Modification seines eignen Versuchs widerlegt. Wenn man absichtlich die Augen in starke Convergenz bringt, so dass die linke der vorerwähnten Nadeln vom rechten Auge, die rechte dagegen vom linken fixirt wird, so sollte das in diesem Falle ganz klare Bewusstsein der vermehrten Convergenz die Nadelbilder noch näher rücken, statt dessen entfernen sie sich scheinbar. Aus allem Vorstehenden ergiebt sich, dass das angebliche Gesetz: die Empfindungen werden in die Projectionsflächen localisirt, welche im Kreuzungspunkte der Sehaxen sich schneiden, nicht blos in den Fällen eine Ausnahme erleide, wo man sich über die Augenstellung täuscht, sondern auch in solchen Fällen der Geltung entbehre, wo man sich nicht täuscht.

Uebrigens dürfte man wohl fragen, ob es um das Gesetz besser stünde, wenn NAGEL's Erklärung Stich hielte? Wenn das Gesetz bei Täuschungen über die Augenstellungen sich nicht bewährt, so ist es eben kein Gesetz.

Alle Schwierigkeiten, in welche sich die Projectionstheorie verwickelt, wurzeln in dem ersten der oben angeführten Fundamentalsätze. Die Behauptung: dass jeder Netzhautpunkt sein Empfinden geradlinig durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien nach aussen trage, ist unhaltbar.

Dies ergiebt sich mit besonderer Klarheit aus der Thatsache, dass das Nachbild einer fixirten Lichtflamme durch d i v e r g e n t e Stellung der Augenaxen nicht verdoppelt wird. Dies constatirte

auf mein Ersuchen BIDDER, welcher das Vermögen willkürlich nach aussen zu schielen in sehr auffälligem Maasse besitzt. Ich selbst habe das gleiche Vermögen, wenn auch in geringem Grade, durch methodische Versuche gewonnen. Der Apparat, welchen ich zur Erreichung meiner Absichten benutzte, ist so eingerichtet, dass zwei kleine, in einer Horizontalebene liegende, schwarze Platten, durch Umdrehung eines Kammrades, einander genähert oder von einander entfernt werden können. Auf jede dieser Platten lege ich eine feine Nähnadel, in der Weise, dass beide als parallele Senkrechte erscheinen, auch sorge ich dafür, dass der gegenseitige Abstand der Nadeln mir die stereoskopische Verschmelzung beider zu einem Bilde gestatte. Nachdem diese Vorbereitungen getroffen, vergrössere ich, durch Umdrehung des Rades, die Distanz der Nadeln ganz allmählich und veranlasse auf diese Weise meine Augen, der Bewegung derselben zu folgen. Durch häufige Wiederholung des Versuches habe ich es schliesslich dahin gebracht, bei einer Sehweite von 300 Millimeter die Nadeln noch einfach zu sehen, wenn ihre Distanz 75^{mm} beträgt, während sich die gegenseitige Entfernung der Knotenpunkte in meinen Augen auf 68^{mm} beschränkt. Der Projectionstheorie nach müssten die Nadeln doppelt gesehn werden, da die Richtungslinien divergiren, und müsste die gegenseitige Entfernung derselben eben so gross erscheinen, wie die zweier Linien von 7^{mm} Distanz, bei 300^{mm} Sehweite.

Uebrigens widerspricht die Behauptung, dass die Richtungslinien des Sehens und die Richtungslinien des Lichts zusammenfallen, nicht etwa blos einzelnen Versuchen, sondern mehreren sehr umfangreichen Klassen von Erscheinungen. Hierher gehören folgende:

1) Alle Fälle, wo der scheinbare Ort eines fixirten Objectes alterirt wird durch das zufällige Dasein oder nicht Dasein eines zweiten Gesichtsobjectes. Zahlreiche Beispiele der Art sind in Cap. V. mitgetheilt worden, andere hat HERING gesammelt.*) Man bemerke, dass die Projectionslehre nicht berechtigt ist, solche Fälle als Irrthümer der Vorstellung von sich zu weisen; denn da sie das Einfach- und Doppelt-Sehen auf ein Localisiren der

*) E. HERING, Beiträge zur Physiologie. Heft 1. Leipzig 1861.

Empfindungen, welches ohne eine Concurrenz des Vorstellungsvermögens nicht denkbar ist, zurückführt, so muss sie auch die Folgen irriger Vorstellungen mit in Rechnung bringen.

2) Gehören hierher alle Fälle, wo das Nachbild einer mit beiden Augen fixirten Linie beim Verschluss des einen oder des andern Auges seine Richtung wechselt (vergl. die Beispiele in Cap. V.). Hinge das Localisiren der Empfindungen davon ab, dass jeder erregte Netzhautpunkt sein Empfinden durch den optischen Mittelpunkt geradlinig nach aussen trüge, so könnten beide Augen, bei gemeinsamer Thätigkeit ihre Empfindungen nicht in einen Ort legen, welcher von dem Orte, in welchen jedes einzelne Auge die seine setzt, verschieden ist.

3) Endlich ist die von der Projectionslehre behauptete Localisation der Empfindung unvereinbar mit der Thatsache, dass eine gegebene Linie dem linken Auge anders erscheint, als dem rechten, und beiden Augen beim binocularen Sehen wieder anders, als jedem der beiden Augen beim monocularen. Ich werde auf diese mit der Projectionslehre unvereinbaren Erscheinungen im Verlaufe dieser Abhandlungen ausführlicher zurückkommen.*)

§ 86. Obschon es zur Verwerfung einer physikalischen Theorie im Allgemeinen ausreicht, ihre Widersprüche mit der Erfahrung nachgewiesen zu haben, so scheint es doch bei der weitreichenden Begriffsverwirrung, zu welcher die Projectionslehre Veranlassung gegeben hat, rathsam, ihr auch mit allgemeineren Gründen entgegen zu treten.

Wenn man behauptet, dass die Richtungslinien des Sehens und die Richtungslinien des Lichts zusammenfallen, so behauptet man gleichzeitig, dass Irrthümer bezüglich der Richtung des Sehens schlechthin unmöglich seien. Dies könnte man nur behaupten, wenn die Richtung des Sehens ebenso die Folge eines einfachen und unumstösslichen Naturgesetzes wäre, wie es die Richtung des Lichtganges im Auge ist. So verhält es sich jedoch nicht. Wir sehen nicht die Richtung der Dinge, sondern wir sehen die Dinge und schätzen ihre Richtung, eine Schätzung aber kann der Natur der Sache nach keine absolut zuverlässige sein.

*) Ueberhaupt wird man im Nachstehenden noch zahlreiche hierher gehörige Belege finden, ich werde auf einige derselben ausdrücklich aufmerksam machen.

Man darf nicht einwerfen, dass es neben dem Schätzen der Richtung noch ein Sehen der Richtung gebe, und dass der Satz: ein gereizter Netzhautpunkt projicire sein Empfinden durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien geradlinig nach aussen, nur für dieses Sehen gelten solle. Eine solche Auffassung würde zu dem absurdum führen, dass die primitiven Empfindungen des ungebildeten Auges den absoluten Raumverhältnissen besser entsprächen, als die des gebildeten.

Dass aber die Schätzungen der Richtung kaum je genau sein können, versteht sich von selbst. Man bedenke nur die Unzulänglichkeit der Beobachtungen, auf welchen sie fussen, und die Schwierigkeit zu entscheiden, welche von unzähligen unter sich ähnlichen, und doch nicht gleichen, Erfahrungen für die Beurtheilung eines gegenwärtigen Falles den richtigen Massstab biete. Gesetzt wir sehen eine Thurmspitze nach oben und rechts, so bedarf es zur Beurtheilung ihrer Richtung der Erkenntniss zweier Winkel. Es fragt sich, worauf diese Erkenntniss fusse? Sie kann nicht fussen auf der Perception des Gesichtswinkels, denn wir haben keinen Sinn ihn wahrzunehmen, und eben so wenig ist auf die Muskelgefühle zu rechnen. Zwar fühlen wir die Winkelbewegungen des Auges, nur darf man in diesen Gefühlen nicht das unmittelbare Maass der in Frage stehenden Winkel suchen. Das Muskelgefühl giebt ziemlich feine Aufschlüsse über das Vorhandensein einer Bewegung, aber es giebt gar keinen directen Aufschluss über die Grösse und Richtung der Bewegung. Wir nehmen nicht wahr, dass die Contraction eines Supinator longus ausgiebiger sei, als die eines Supinator brevis, und das Muskelgefühl giebt darüber, dass die Fasern eines gefiederten Muskels sich in entgegengesetzten Richtungen verkürzen, nicht den mindesten Aufschluss. Das Muskelgefühl gehört in die Klasse der Allgemeingefühle, welche nur auf innere Zustände, nicht auf äussere Verhältnisse hinweisen, es gehört nicht zu den Raumsinnen, und wenn wir die gefühlten Bewegungen mit räumlichen Verhältnissen in Bezug bringen, so sind diese Beziehungen doch nur abgeleitete und stützen sich selbst wieder auf Erfahrungen, die ohne Hülfe der Raumsinne nicht gewonnen werden können.

Die Anhänger der Projectionslehre haben die Bedeutung des Muskelgefühls für das Wahrnehmen der Sehrichtung oft gänzlich

verkannt. Sie haben vielfältig angenommen, das Muskelgefühl belehre uns über die Augenstellung, und aus dem Bewusstsein der letzteren resultire die Erkenntniss von der Richtung der Projectionslinien, womit dann die Richtung der Gesichtsobjecte ohne Weiteres gegeben sei. Diese Annahme ist unrichtig. Wie das Muskelgefühl über die Richtung der Bewegung überhaupt nichts direct aussagt, so sagt es auch von der Stellung der Augen nichts Directes. Man kann nur sagen, dass sich an die, mit einer bestimmten Einstellung der Augen verbundenen, Muskelgefühle Vorstellungen über die räumliche Lage des Objectes einerseits, und über die Richtung der Augen andrerseits, associiren. Nun sind diese räumlichen Vorstellungen ziemlich feiner Art, wenn sie in Gemeinschaft mit solchen Empfindungen auftreten, aus welchen sie erwachsen, d. h. wir haben sehr genaue Vorstellungen von der Stellung der Augen, so oft wir diese als Sehwerkzeuge benutzen, und werden uns also beispielsweise darüber nicht täuschen, ob wir die Augen auf ein zu fixirendes Object richtig eingestellt haben, oder nicht. Wenn dagegen die Augen, ohne die leitenden Gesichtseindrücke Bewegungen ausführen, so ist die Vorstellung von der Augenstellung eine durchaus unklare und das Missverstehn der Muskelgefühle oft sehr auffällig. Man schliesse die Augen und es wird sich ergeben, dass man den Ort, auf welchen sie gerichtet sind, kaum annähernd anzugeben im Stande ist.

Es bleibt dabei, dass die Wahrnehmung der Richtung der Dinge eine Errungenschaft der Erfahrung ist. Jemehr wir unsere Gesichtsempfindungen und die mit denselben verbundenen Muskelgefühle durch förmliche Bemessungen der Raumverhältnisse controlirt haben, um so mehr approximiren unsere Vorstellungen an die objectiv räumlichen Vorlagen, von etwas mehrerem als einem Approximiren kann nie die Rede sein. Je mehr sich aber im besondren Falle die Vorstellung vom Orte eines Dinges der Wahrheit nähert, um so mehr gewinnt der Ausdruck: das Auge projicire seine Empfindung geradlinig durch den Kreuzungspunkt der Richtungslinien, die Bedeutung eines treffenden Gleichnisses.*)

Uebrigens haben die Anhänger der Projectionslehre selbst anerkannt, das ihre Richtungslinien der Empfindung zur Erklä-

*) Ich erlaube mir hier auf die Betrachtungen in § 83 zu verweisen.

rung des Einfach- und Doppelt-Sehens nicht ausreichen. Empfindungen, welche auf dem schnurgeraden Wege der Projectionslinien nach aussen wandern, können an einem und demselben Orte oder an verschiedenen Halt machen, und es kommt daher zweitens noch auf die Bestimmung der Haltpunkte an. Folgen wir NAGEL, so ist es die Projectionsfläche, in welcher die Empfindungen stecken bleiben, wie Flintenkugeln in der Scheibe, und die Einheit der Erscheinung hängt davon ab, ob sie im Fixirpunkte einschlagen oder daneben treffen.

Ich glaube das psychologisch Unhaltbare solcher Auffassungen bereits hinreichend erörtert zu haben, sonst könnte noch auf die feine Bemerkung HERING's verwiesen werden, dass die Verdoppelung der Projectionslinien, für jedes Auge eine, in keiner Weise gerechtfertigt ist. Man kann über die verschiedene Richtung des Objectes zum linken und rechten Auge reflectiren, wie man über seine verschiedene Richtung zur Hand und zum Fusse auch reflectiren kann, aber die Vorstellung der Richtung ist keine doppelte. Indem wir so sehen, als ob wir ein einziges in der Gegend der Nasenwurzel befindliches Auge hätten, meint HERING, dass sich die Richtung des Sehens nur durch eine einfache Linie versinnlichen lasse, welche eben von der Nasenwurzel zum Objecte zu ziehen sein würde. Ich lasse dahingestellt, ob die unzweifelhafte Berechtigung des gegen die Projectionslehre gerichteten Angriffs, durch diese weitere Ausführung anschaulicher werde.

Man hat mit Hülfe von Projectionslinien vielfältig Figuren verzeichnet, an welche man geometrische Betrachtungen anknüpfte, und hat das Wichtigste vergessen, nämlich den Nachweis ihrer Berechtigung. Warum beginnen die Richtungslinien des Sehens in diesem Punkte und endigen in jenem? warum, beispielsweise beginnen sie vom erleuchteten Netzhautpunkte und nicht irgendwo im Gehirne, welches wir als die Werkstätte der Empfindung betrachten? Ueberhaupt welchen Sinn haben Projectionslinien, wenn es an einem Projicirten fehlt, welches den Raum durchmisst?*)

---

*) Wenn wir eine Empfindung nach aussen projiciren, d. h. dem Objecte, welches durch seine Lichtstrahlen die Netzhaut reizte, einen Ort in der Aussenwelt anweisen, so lässt sich der psychische Vorgang auf das Ur-

Ich kann nicht umhin, an diese Fragen noch eine Bemerkung anzuknüpfen, die, wie trivial sie scheinen mag, eine zeitgemässe sein dürfte. Die Vorgänge der Lichtbewegung und die Vorgänge der Gesichtsempfindung dürfen nicht zusammengeworfen werden. Nur die ersteren sind demonstrabel nicht die letzteren. Die Linienconstructionen, durch welche man den Gang der Empfindung und den scheinbaren Ort des Objectes nachzuweisen sucht, sind gänzlich zu verwerfen, denn sie machen den Gegenstand der Untersuchung nicht klarer, sondern unklarer. Alle diese Constructionen operiren mit Linien, welche nur in der Optik berechtigt, in der Physiologie der Empfindung durchaus unberechtigt sind, und erschleichen Erfolge, welche die exacte Naturwissenschaft nimmermehr anerkennen wird.

§ 87. Der auf empirische und theoretische Gründe gestützte Beweis, dass die Projectionstheorie unhaltbar sei, erleichtert den Fortgang der Untersuchung wesentlich. Es handelt sich nicht mehr darum, für die Erscheinungen des Einfach- und Doppelt-Sehens unter verschiedenen möglichen Erklärungen die beste auszusuchen, sondern nur zu fragen, ob das einzige Erklärungsprincip, welches übrig zu bleiben scheint, ich meine das von Johannes Müller vertheidigte, Stich halte.

Die Identitätslehre erklärt das Einfach- und Doppelt-Sehen aus der Natur der Nervenelemente, welche in dem einen und dem andern Auge der Empfindung dienen. Sie nimmt an, dass es identische und differente Punkte in den beiden Netzhäuten gebe, deren erstere sich dadurch auszeichnen, dass sie ihre Empfindungen nicht neben einander setzen und also auch zu einem räumlichen Unterscheiden nie Gelegenheit geben. Die differenten Punkte dagegen sollen sich so verhalten, wie sich die sensibeln Elementartheile eines Raumsinnes im Allgemeinen verhalten, sie sollen neben einander liegende und im Nebeneinander unterscheidbare Empfindungen erwecken.

Dieser Auffassung entspricht zunächst die Einheit des Sehfeldes. Obschon jeder sensible Elementartheil eines und desselben Auges eine räumlich discrete Empfindung bedingt, so bedingen

theil zurückführen: hier bin ich und dort ist das Ding. Zwischen dem Dinge und dem Ich lässt sich aber keine Linie ziehen.

doch die sensibeln Elementartheile der linken und der rechten Netzhaut, im Ganzen genommen, nicht räumlich unterscheidbare Empfindungen. Vielmehr deckt sich das vom linken Auge bedingte Sehfeld mit dem des rechten. Wenn man die Augen schliesst, so erblickt man ein einfaches Schattenfeld, und sind nicht etwa die beiden seitlichen Hälften desselben von der Thätigkeit des einen und des andern Auges abhängig. Hiervon kann man sich durch folgenden Versuch überzeugen.

Versuch 99.

Man richte die geschlossenen Augen gegen die Sonne, wobei das Sehfeld eine prächtig hochrothe Farbe annimmt. Dann lege man eine flache Hand an die Stirn und führe sie von oben nach unten über das eine Auge. Die Folge ist, dass das Hochroth des Sehfeldes in dunkles Purpurroth übergeht, aber nicht blos auf der Seite des verdeckten Auges, sondern auf beiden Seiten. Die Empfindung gestaltet sich so, als ob ein dunkler Vorhang vor einem lichten Grunde herabrolle.

Hieran schliessen sich die Erscheinungen, welche entstehen, wenn man jedes der beiden Augen mit einem anders farbigen Lichte beleuchtet, also die Erscheinungen, welche man als Wettstreit der Sehfelder bezeichnet. Obschon die beiden Farben sich nicht in der gewöhnlichen Weise mischen, so treten sie doch nie räumlich auseinander, sondern überziehen beide, in wechselnden Tönen, das eine Gesichtsfeld in allen seinen Theilen.

Dieses eine subjective Sehfeld folgt zwar der Blickrichtung im Ganzen, kann aber durch keine Stellung der Augen, auch nicht durch willkürliches Schielen nach aussen, in zwei Theile zerrissen werden. Nie sieht man, dass die Projectionsflächen sich schneiden, und eben so wenig, dass sie mit dem Wechsel der streitenden Farben ihre Stelle im Sehfelde ändern.

Diese Erfahrungen beweisen, dass sich die Summe der Elementartheile beider Augen nicht so verhalte, wie die Summe der Elementartheile der linken und der rechten Hälfte eines und desselben Auges. Im letzteren Falle wächst der Umfang der räumlichen Erscheinung mit der Grösse der Summe, im ersteren Falle nicht. Wenn nun beim binocularen Sehen durch Verdoppelung der sensibeln Elemente der Umfang der Erscheinung keinen Zu-

wachs erfährt, und doch jedes der beiden Augen bei der Production der Raumanschauung gleichmässig betheiligt ist, so ist es nicht Hypothese sondern Thatsache, dass die Totalität der sensibeln Elementartheile des einen und des andern Auges identisch sei, d. h. sich mit Nothwendigkeit zu einer einfachen Raumanschauung verbinde.

Da also die Totalität der sensibeln Elemente des einen Auges: *a*, *b*, *c*, *d* etc. identisch ist mit der Totalität der sensibeln Elemente des andern Auges: a', b', c', d' etc., andrerseits aber, wie hinreichend erwiesen, die Elementartheile eines und desselben Auges in Bezug auf räumliche Anschauungen sich als differente verhalten, so muss man annehmen, dass für jeden sensibeln Punkt des einen Auges sich nur ein identischer im andern finde, während alle übrigen Punkte ihm different sind. Ist *a* und *b* im linken Auge different, dagegen *a* und a' in beiden Augen identisch, so ist a' und *b* nothwendig different, weil *a* und *b* different sind, und weil ein und dasselbe sensible Element nicht identisch sein kann mit zwei unter sich differenten Elementen. Wenn Panum behauptet, dass jeder sensible Punkt einer Netzhaut identisch sei mit vielen und zum Zwecke separater Empfindungen gegebenen Netzhautpunkten des andren Auges, so muss ich den ihm schon früher gemachten Einwurf fest halten, dass diese Darstellung eine logische Unmöglichkeit enthalte.*)

Dass gewisse Punkte der beiden Netzhäute unter sich identisch, andere unter sich different sind, scheint mir unzweifelhaft, fraglich bleibt dann nur die Lagerung dieser Punkte. Um sich über diese verständigen zu können, denkt man sich den Augapfel mit Linien bezogen, wie den Erdglobus mit Graden. Die sensibelsten Punkte der Netzhaut, also die Foveae centrales, gelten als Pole. Man hat auch die geographischen Namen beibehalten und spricht von Meridianen und Polar- oder Parallel-Kreisen. Diejenigen beiden Meridiane, welche bei horizontaler und paralleler Stellung der Augenaxen, den Bulbus senkrecht durchschneiden, heissen die senkrechten Meridiane, wonach sich von selbst versteht, dass unter horizontalen Meridianen die zu verstehen sind,

*) Panum behauptet, dass meine Demonstration auf seine Lehre von den Empfindungskreisen nicht anwendbar sei. Ich werde weiter unten auf diese Behauptung zurückkommen.

welche bei derselben Stellung der Augen in der horizontalen Visirebene liegen.

Wer einmal die Ueberzeugung gewonnen, dass die Unterscheidung identischer und differenter Netzhautpunkte eine begründete sei, der wird die ungefähre Lage, welche die identischen einnehmen müssen, nicht lange bezweifeln können. Offenbar müssen sich die obern Partien der beiden Netzhäute einerseits und die untern Partien andrerseits entsprechen, desgleichen kann kein Zweifel sein, dass die innere Seite des einen Auges mit der äussern des andern identisch sei und umgekehrt, da ohnedies von einem Einfachsehn der Objecte, welche seitlich von den Augenaxen liegen, nicht die Rede sein könnte.

Die Druckversuche Müller's, welche diese Lagerungsverhältnisse der identischen Punkte bestätigen, haben gegenwärtig nur noch ein historisches Interesse, aber es ist sachlich wichtig, wenn Nagel aus eben diesen Versuchen ganz entgegengesetzte Folgerungen ableitet. Er theilt folgenden Versuch mit.*)

»Nachdem man sich die Stelle des Sehfeldes gemerkt hat, wo bei gewöhnlicher paralleler Augenstellung beim Druck an bestimmter Stelle des Orbitalrandes, eine Lichterscheinung auftrat, richte man die Augen stark convergent und übe nun den Druck, in gleicher Weise wie früher, zunächst dem Orbitalrande aus. Wiederum werden sich die Phosphene an ungefähr derselben Stelle des Sehfeldes decken (wahrnehmbar machen?), wiewohl ganz andere Regionen der Netzhaut gereizt werden. Man richte ferner die Augen seitlich, und drücke wieder ganz nahe am Orbitalrande. Auch jetzt nimmt der einfache Feuerkreis die nämliche Stelle des Sehfeldes ein. Es ist klar, dass bei Convergenz der Sehaxen sowohl, als bei associirter Seitenbewegung der Bulbi nicht mehr identische Punkte der Netzhaut an der Stelle des Orbitalrandes, wo der drückende Finger sich befindet, zu liegen kommen, und doch tritt in der Projection der Druckfigur keine merkbare Aenderung ein.«

Aus diesem Versuche soll gefolgert werden, dass die Lage des empfindenden Punkts auf der Netzhaut für den Ort des empfundenen Bildes im Sehfelde ein Gleichgültiges sei. Die nächste Frage,

*) a. a. O. 151.

welche sich aufdrängt ist die, was hier Sehfeld bedeute? Meint NAGEL das objective Sehfeld, d. h. die vor unsern Augen ausgebreitete Welt, inwiefern sie das Object unsrer Betrachtung abgiebt, oder meint er das subjective Sehfeld, d. h. die immanente, allerdings in der Form des Räumlichen sich darstellende Empfindung? Da der Verfasser sich hierüber nicht ausgesprochen hat, will ich auf beide mögliche Definitionen Rücksicht nehmen.

Gesetzt NAGEL hätte die Versuche bei offnen Augen angestellt und hätte sich den Ort der Druckfigur an einem objectiven Deckpunkte gemerkt, wie der Wortlaut der angeführten Stelle sehr wahrscheinlich macht, so ist das Ergebniss seiner Versuche mit dem MÜLLER's und mit der Identitätslehre vollkommen vereinbar.

Das Druckbild deckt in der Aussenwelt einen Ort (Merkpunkt), welcher sein Netzhautbild genau da entwirft, wo der Finger drückt, und durch seinen Druck den subjectiven Sehact auslöst. Es liegen also der Merkpunkt als objective Lichtquelle, und der Finger als subjective Lichtquelle, in einer geraden Linie, welche den mittleren Knotenpunkt des Auges schneidet. In dieser Linie, welche die Richtungslinie des Lichtes ist, bleiben beide angenähert liegen, auch wenn die Augen ihre Stellung merklich ändern. Würden die Augen ihre Drehbewegungen um den Knotenpunkt selbst ausführen, so müsste die Deckung des Druckbildes und Merkpunktes vollkommen unverändert bleiben. Ersteres ist nun zwar nicht der Fall, da aber der Drehpunkt und der Knotenpunkt des Auges nahe beisammen liegen, so werden auch die Netzhautstellen, deren eine vom Lichte, die andere vom Drucke gereizt wird, nur wenig auseinander weichen, und wird folglich das Druckbild ungefähr dieselbe scheinbare Lage in der Aussenwelt behalten müssen, genau so wie NAGEL es beobachtete.

Ein solcher mit offnen Augen ausgeführter Versuch beweist nur, was eines Beweises nicht mehr bedarf, dass differente Netzhautpunkte ihre Empfindungen, bildlich gesprochen, in denselben Ort projiciren, wenn sie durch Drehbewegungen des Auges in die Richtungslinien eben dieses Ortes übergeführt werden. Diese allbekannte Thatsache widerlegt aber keineswegs den Lehrsatz, dass Erregungen differenter Punkte Empfindungen in verschiedenen Orten des subjectiven Sehfeldes vermittle. Man denke

sich, das den Merkpunkt deckende Druckbild liege anfänglich 80° nach innen vom Fixirpunkte, und das Auge mache dann eine Seitendrehung von 40° nach innen, so ist einleuchtend, dass sich die Sehaxe dem Merkpunkte und folglich auch umgekehrt das im Merkpunkte persistente Druckbild der Sehaxe um 40° nähert. Der Versuch lehrt demnach: ein Druck auf differente Netzhautpunkte bedingt Bilder an verschiedenen Orten des subjectiven Sehfeldes, und zwar bedingt ein Druck auf denjenigen Punkt, welcher der Macula lutea ferner liegt, das Bild welches im subjectiven Sehfelde der peripherischen Grenze desselben näher liegt. Ein solches Ergebniss entspricht den Principien der Identitätslehre vollkommen.

Anders verhielt sich freilich die Angelegenheit, wenn Nagel mit dem Worte Sehfeld das subjective gemeint und in einem Versuche mit geschlossenen Augen die Erfahrung gemacht hätte, dass ein Druck auf merklich differente Netzhautpunkte ein Phantom an demselben Orte eben dieses Feldes, oder mit andern Worten ein Druckbild erzeugte, dessen Abstand von der Sehaxe nicht differirte. Hätte Nagel dies behaupten wollen, was ich nicht voraussetze, so müsste ich gegen die Zuverlässigkeit seiner Versuche Einspruch erheben. Ich habe Druckversuche bei geschlossenem Auge angestellt, und glaube mich nicht zu täuschen, wenn ich behaupte, dass das Druckbild in den Fällen, wo die Augen auf ein sehr Fernes eingestellt sind, mehr in den Seitentheilen des Sehfeldes liege, als in den Fällen, wo sie stark convergiren. Auch haben mehrere meiner Freunde, bei Wiederholung des Versuches, dasselbe Resultat erhalten. Andre freilich, unter welchen ich Fechner und Ruete nenne, konnten meine Wahrnehmung nicht bestätigen, bemerkten aber, dass sie für das Gelingen der beabsichtigten Convergenz nicht einzustehen wagten. Unter allen Umständen sind die Versuche mit geschlossenen Augen wegen der Schwierigkeit, den Ort des Druckbildes im Schattenfelde genau zu bestimmen, unzuverlässig und können in der fraglichen Angelegenheit weder für noch wider entscheidende Beweise abgeben.

§ 88. Obschon gegen die Müller'schen Versuche principiell nichts einzuwenden ist, so sind sie doch aus zwei Gründen von sehr untergeordnetem Werthe. Sie sind nämlich in den Centraltheilen der Netzhaut gar nicht, und auch in den peripherischen

Theilen derselben nicht mit Genauigkeit ausführbar. Die Druckstellen sind viel zu gross, und die Angabe ihres Ortes (beispielsweise am äussern Augenwinkel) viel zu unbestimmt.

Man kann durch objective Sehversuche die Lage der identischen Punkte ungleich genauer ermitteln als durch subjective, man braucht nur mit Hülfe der Richtungslinien des Lichtes die Lage der Netzhautpunkte zu bestimmen, welche von einem einfach gesehenen Punkte der Aussenwelt ihr Licht erhalten.

Hieran schliesst sich folgende Betrachtung. Wenn wir einen Stern am Himmelsgewölbe fixiren, so sehen wir nicht nur diesen, sondern gleichzeitig einen, irgendwo seitlich gelegenen, Nachbar desselben einfach. Es ist wahrscheinlich, dass diese Einheit der Erscheinung durch die gegebene Stellung der Augen und folglich auch durch die gegebene Lage der identischen Punkte bedingt sei, da schon eine kleine Convergenzbewegung ausreicht, sie aufzuheben und Doppelbilder zum Vorschein zu bringen.

Mit Rücksicht auf die parallele Stellung der Augenaxen bei Betrachtung der Himmelskörper, ist klar, dass die Gesammtheit der zur Wahrnehmung kommenden Sterne in beiden Augen ein vollkommen gleiches Bild herstellt. Da nun das Licht des fixirten Sternes in beiden Augen die als Pol genommene Fovea centralis trifft, so müssen alle Punkte der geometrisch gleichen Netzhautbilder auf correspondente Netzhautpunkte fallen; wenn nicht etwa durch eine Raddrehung der Bulbi bewirkt worden ist, dass der senkrechte Meridian der Netzhaut und der senkrechte Meridian am Himmel sich schneiden.

Insofern dies anzunehmen kein Grund vorliegt, und insofern die einheitliche Erscheinung der einzelnen Punkte des Sternbildes durch den Augenschein wenigstens approximativ verbürgt ist, folgt für alle diejenigen, welche die Identität der Netzhäute im Ganzen zugeben, dass die identischen Punkte und die correspondenten, d. h. die unter gleichen Längen- und Breitengraden gelegenen, a n n ä h e r u n g s w e i s e zusammenfallen.

Es ist bekannt, dass Johannes Müller diese Folgerung machte und an die Spitze der Identitätslehre stellte. Alle Anhänger der letzteren haben sie als einen Fundamentalsatz betrachtet, von welchem nach der Meinung der Meisten die Berechnung des Horopters auszugehen habe. Wenn Meissner die Berechtigung solcher

Ableitungen, und gewiss mit Recht, bekämpft, so beruht seine Opposition nicht darauf, dass er jenen Fundamentalsatz verwirft, sondern vielmehr darauf, dass derselbe ohne die erforderliche Rücksicht auf die Axendrehung in Anwendung genommen und zur Begründung falscher Folgerungen benutzt wurde.

Die horizontalen und verticalen Meridiane Meissner's sind nicht Linien von physiologischer, sondern physikalischer Bedeutung. Sie sollen nicht dienen uns über die Lage der identischen Punkte, sondern über die Lage der optischen Bilder zu verständigen. Sie sind also nicht als Linien zu fassen, welche der Netzhaut anhaften, und bewegen sich nicht mit, wenn das Auge eine Raddrehung ausführt. Wenn nun beispielsweise Meissner zeigt, dass die Netzhautbilder einer fixirten senkrechten Linie bei horizontaler und convergenter Stellung der Augenaxen in die senkrechten Meridiane fallen und doch doppelt gesehen werden, so ist dies keine Erfahrung, welche der Müller'schen Grundansicht ohne Weiteres widerspricht. Denn die verticalen Meridiane Müller's, welche zur Orientirung über die Lage der identischen Punkte dienen sollen und folglich der Netzhaut anhaften, könnten in Folge der Axendrehung eine derartige schiefe Stellung eingenommen haben, dass die Ebenen, in welchen sie liegen, sich kreuzten und nun freilich sich mit den senkrechten Netzhautbildern einer fixirten Lothrechten ebenfalls kreuzten. In der That ist dies Meissner's Ansicht. Auch er nimmt an, dass die identischen Netzhautpunkte mit den correspondenten zusammenfallen, nennt aber die correspondenten Linien, welche die Lage der identischen Punkte bezeichnen, nicht Meridiane, sondern Trennungslinien.*) Nur bei gewissen Stellungen des Auges sollen die verticalen Trennungslinien mit den verticalen Meridianen zusammenfallen, indess wird ausdrücklich angegeben, dass ein solches Zusammenfallen bei horizontaler und paralleler Stellung der Augenaxen stattfinde, ein Beweis, dass Meissner sich mit dem oben erwähnten Fundamentalsatze nicht im Widerspruche befindet.

---

*) Ich bemerke, dass ich mich des von Ruete eingeführten Ausdrucks: Trennungslinien im Nachstehenden oft bedienen werde, besonders wenn es darauf ankommt, die Linien, welche mit der Rotation des Auges ihre Lage verändern, von denen zu unterscheiden, welche der Augendrehung nicht folgen, wie die Meissner'schen Meridiane.

Ich habe geglaubt, auf diese theoretische Stellung Meissner's ausdrücklich hinweisen zu müssen, weil ich allerdings das Zusammenfallen der Trennungslinien mit den correspondenten Meridianen allgemein läugne, und meine isolirte Stellung in dieser Angelegenheit von vorn herein scharf bezeichnen möchte.

§ 89. Versuche über die Lage der identischen Punkte können nur brauchbare Resultate ergeben, wenn sie bei vollkommen constanter Stellung der Augen ausgeführt werden. Ich habe für angemessen gehalten, eine Augenstellung zu wählen, bei welcher das Vorhandensein einer Axendrehung am wenigsten vorauszusetzen ist, und habe deshalb mit horizontalen und parallelen Sehaxen beobachtet. Ich werde diese Stellung der Augen der Kürze wegen die Normalstellung nennen.

An einer geraden, vor den Augen befindlichen senkrechten Wand sind zwei Drehscheiben so angebracht, dass der Drehpunkt einer jeden in der optischen Axe des bezüglichen, auf die unendliche Ferne gerichteten Auges liegt. Auf jeder Scheibe ist eine feine Linie verzeichnet, welche das Centrum der Scheibe schneidet und also mit der Umdrehung dieser ihrer Lage ändert. Zur Bestimmung der Lagenveränderung ist im Umkreise der Scheibe ein Gradmesser angebracht, welcher zwar nur bis auf Grade getheilt ist, aber unter Zuziehung einer Loupe Schätzungen von $0{,}1^{0}$ gestattet.

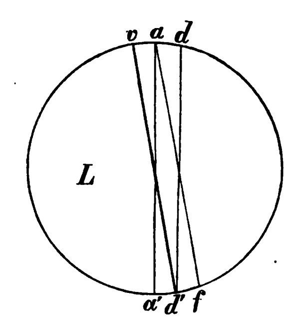
Was nun die Benutzung des Instrumentes zur Bestimmung der Trennungslinien anlangt, so stützt sie sich auf Meissner's ingeniose Verwerthung der Doppelbilder zu gleichen Zwecken. Ich betrachte die auf den Scheiben befindlichen Linien (kurz: die Diameter) unter minimaler Convergenz der Augenaxen, sehe sie also in sehr wenig distanten Doppelbildern, und verlange in der Erscheinung absoluten Parallelismus beider. Ich bemühe mich, während ich die eine Scheibe unberührt lasse, diesen Parallelismus durch Umdrehung der andern Scheibe herzustellen, und constatire durch eine Ablesung am Gradmesser, in wie weit die Lösung der Aufgabe gelungen ist.

Ich will nun vorgreifend bemerken, dass die Lösung nie gelingt, und dass die Fehler der Stellung constant auf einer Seite liegen. Die Diameter, welche parallel erscheinen, divergiren ohne Ausnahme nach oben. In welchem

Grade sie divergiren, oder, was dasselbe sagt, unter welchem Winkel sie sich kreuzen, lässt sich mit Hülfe meines Instrumentes bis auf 0,1⁰ messen. Im Nachstehenden ist dieser Winkel unter der Bezeichnung *Kreuzungswinkel* eingeführt.

Ueber die Beziehung meiner Versuche zur Identitätslehre bemerke ich, unter Anlehnung an Meissner's Betrachtungen, Folgendes.*) Die Thatsache, dass die auf den Drehscheiben befindlichen Linien bei senkrechter Richtung nicht parallel erscheinen, beweist dass die identischen Trennungslinien mit den correspondenten Meridianen *nicht* zusammenfallen. Die Richtigkeit dieser Behauptung lässt sich am bequemsten an dem Falle erörtern, wo die senkrechten und also wirklich parallelen Diameter nach oben scheinbar convergiren.

Werden die senkrechten Diameter unter einer minimalen Convergenz der horizontalen Augenaxen betrachtet, so fallen die Bilder derselben zwar nicht in die verticalen Meridiane, sondern neben diese, mehr nach innen, aber sie verbleiben demohngeachtet im Lothe, und sollten mit Rücksicht hierauf senkrecht und parallel erscheinen. Denn wenn wir von zwei neben einander befindlichen senkrechten Linien die eine fixiren, fällt die zweite, nicht fixirte, ebenfalls neben den verticalen Meridian, ohne deshalb schief zu scheinen. Die Störung des Parallelismus kann nicht von einer optischen Ursache abhängen,**) vielmehr ist der Grund, warum zwei im Lothe stehende lineare Netzhautbilder convergiren, auf die Principien der Identitätslehre zurückzuführen.



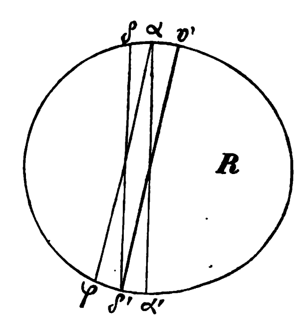


Fig. 22.

*) G. Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. § 11.

**) Sie kann ebensowenig nach der Projectionstheorie erklärt werden.

In nebenstehender Figur bedeuten L und R das linke und das rechte Auge, von hinten gesehen, $a a'$ und $\alpha \alpha'$ die senkrechten Meridiane, ferner $d d'$ und $\delta \delta'$ die senkrechten Netzhautbilder der senkrechten Diameter, welche, mit Rücksicht auf die Convergenz-stellung, auf die Innenhälften der Augen zu liegen kommen. Unter diesen Umständen erscheinen also die Diameter nicht parallel und senkrecht, sondern nach oben convergent. Hieraus ist zu schliessen, dass die sogenannten verticalen Trennungslinien nicht mit den verticalen Meridianen zusammenfallen, sondern in der Richtung $v d'$ und $v' \delta'$ verlaufen, mithin nach oben divergiren und nach unten sich kreuzen.

Man beachte, dass die verticalen Trennungslinien ihrer Natur nach identische sind, und dass wir sie nur deshalb verticale nennen, weil sie im Zustande der Erregung die Erscheinung einer senkrechten Linie veranlassen. Haben nun die verticalen Trennungslinien die Lage $v d'$ im linken und $v' \delta'$ im rechten Auge, so werden die Diameterbilder $d d'$ und $\delta \delta'$, deshalb nicht senkrecht und nicht parallel erscheinen können, weil sie mit den verticalen Trennungslinien, welche die Erscheinung des Senkrechten bedingen, sich schneiden. Sie werden nach oben convergiren müssen, weil ihre in den untern Augenhälften gelegenen und deshalb oben erscheinenden Enden d' und δ', der von der Trennungslinie postulirten Senkrechten näher stehen, als die in den obern Augenhälften gelegenen und deshalb unten erscheinenden Enden d und δ.

Für die Richtigkeit dieser Auffassung spricht schliesslich der Umstand, dass die Diameter parallel und senkrecht erscheinen, wenn sie in Wirklichkeit nach oben divergiren. Findet dies statt, so nehmen die Diameterbilder aus optischen Gründen die Lage $a f$ und $\alpha \varphi$ an, und ist nun der scheinbare Parallelismus derselben verständlich, da die in der angegebenen Weise schief liegenden Bilder mit den sogenannten verticalen, aber in der Wirklichkeit schief liegenden Trennungslinien parallel laufen.

Ueber das von mir angewandte Experimentalverfahren ist noch Folgendes zu bemerken.

Nachdem sich gezeigt, dass in der Normalstellung die verticalen Trennungslinien mit den verticalen Meridianen nicht zusammenfallen, war unerlässlich das Verhältniss der ersteren zu den

letzteren auch unter anderen Raumlagen zu untersuchen. Die Beobachtungen hierüber finden sich im Nachstehenden. Jede Beobachtung ist 30 mal wiederholt worden, um möglichst sichere Mittelzahlen zu erhalten. Wie weit diese Mittelzahlen Zutrauen verdienen, ergiebt sich aus dem für jede Beobachtungsreihe berechneten und am Schlusse derselben bemerkten wahrscheinlichen Beobachtungsfehler.

In den Untersuchungen über Grössenunterschiede (Cap. IV.) hat sich ergeben, dass es nicht gleichgültig ist, ob man mit einer linksliegenden Grösse eine rechtsliegende vergleicht, oder umgekehrt, eben so wenig dürfte es gleichgültig sein, ob man nach der Lage des linken Diameters den rechten regulirt, oder nach der des rechts gelegenen den links liegenden. Ich habe also die Raumlage berücksichtigt, und habe den constanten Diameter, nach welchem die Richtung des beweglichen geregelt wurde, iu jeder Versuchsreihe 30 mal links, und 30 mal rechts gelegt. Meine Versuche werden zeigen, dass dieses mühsame und zeitraubende Verfahren unerlässlich ist. Man wird nämlich finden, dass in solchen Versuchsreihen, in welchen die Schwankungen der einzelnen Beobachtungen sehr gering sind, die bei der einen oder andern Raumlage erhaltenen Mittelwerthe sehr verschieden ausfallen können. Kurz die Raumlage wird zur Ursache constanter Fehler, welche sich nur dadurch eliminiren lassen, dass man von den in beiden Raumlagen gewonnenen Mittelwerthen der Kreuzungswinkel die halbe Summe nimmt.

Im Nachstehenden bedeuten die Worte: linke Raumlage, dass der constante Diameter, nach welchem die Richtung des beweglichen regulirt wird, links liege, selbstverständlich ist der Ausdruck rechte Raumlage analog zu nehmen.

Versuch 100.

Der constante Diameter hat eine senkrechte Richtung.

A. Linke Raumlage. Der rechte Diameter wird durch Drehung der Scheibe so gestellt, dass er mit dem gegebenen linken scheinbar parallel läuft. In Wahrheit ist er aber mit dem obern Ende nach rechts gerichtet und kreuzt sich demnach mit dem Constanten. Die Grössen der Kreuzungswinkel betragen:

2,0°	1,7°	1,8°	2,0°	1,9°	2,3°	2,1°	2,2°	2,1°	2,1°
2,5°	2,6°	2,5°	2,0°	2,5°	2,0°	2,5°	2,6°	2,0°	2,6°
2,1°	2,4°	2,5°	2,6°	2,2°	2,5°	2,1°	2,1°	2,4°	2,0°

im Mittel 2,23°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,16°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter zeigt stets eine Neigung nach links. Der Kreuzungswinkel beträgt:

2,2°	2,1°	2,1°	2,4°	2,1°	2,2°	2,2°	1,8°	2,0°	2,1°
2,0°	1,8°	2,1°	2,1°	2,3°	1,9°	2,1°	2,0°	2,3°	2,4°
2,0°	2,0°	2,0°	1,7°	2,1°	2,0°	1,9°	1,8°	2,0°	2,2°

im Mittel 2,06°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,07°.

Schon hier zeigt sich, dass die Beobachtungen durch die Raumlage alterirt werden, und dass es nothwendig ist, aus den bei der einen und andern Raumlage gewonnenen Mittelwerthen, nochmals einen Mittelwerth abzuleiten.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 2,23°
,, ,, ,, rechter ,, = 2,06°
Im Mittel von 60 Beobachtungen = 2,15°.

Versuch 101.

Der constante Diameter hat die Richtung von rechts unten nach links oben, und bildet mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von 15°.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter bildet, bei scheinbarem Parallelismus der Doppelbilder, mit dem verticalen Meridiane stets einen zu kleinen Winkel. Die beiden Diameter divergiren also nach oben. Der Kreuzungswinkel beträgt:

2,2°	1,9°	1,9°	2,4°	2,0°	2,0°	2,3°	1,8°	2,4°	1,6°
2,4°	1,7°	2,1°	2,0°	1,7°	1,9°	2,0°	2,1°	1,9°	2,0°
1.9°	2,0°	2,2°	2,1°	1,7°	2,4°	2,0°	2,0°	2,3°	1,8°

im Mittel 2,02°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,12°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter bildet bei scheinbarem Parallelismus der Doppelbilder mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von mehr als 15°. Grösse des Kreuzungswinkels:

1,8°	2,0°	1,8°	2,3°	2,2°	2,2°	2,6°	2,2°	2,2°	1,8°
1,8°	2,0°	1,9°	2,3°	2,2°	2,3°	2,0°	2,0°	2,1°	2,4°
2,0°	1,7°	1,9°	2,0°	2,2°	2,0°	2,1°	2,0°	2,0°	2,2°

im Mittel 2,07°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,11°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 2,02°
,, ,, ,, rechter ,, = 2,07°
Im Mittel von 60 Beobachtungen = 2,05°.

Versuch 102.

Der constante Diameter hat die Richtung von rechts und unten nach links und oben, und bildet mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von 30°.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen zu kleinen Winkel. Der Kreuzungswinkel beträgt:

2,0°	1,7°	2,1°	2,0°	2,5°	2,3°	2,8°	2,0°	2,5°	2,2°
2,4°	2,3°	1,9°	2,0°	2,5°	2,5°	1,6°	2,0°	2,4°	1,8°
2,5°	2,6°	2,1°	2,4°	2,6°	2,1°	2,2°	2,2°	2,8°	2,6°

im Mittel 2,253°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,18°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane stets einen Winkel von mehr als 30°. Kreuzungswinkel:

0,5°	1,6°	1,0°	1,2°	1,1°	1,1°	1,0°	1,5°	1,9°	2,0°
1,5°	1,6°	2,0°	1,1°	1,5°	1,2°	1,0°	1,5°	0,8°	1,0°
0,6°	1,0°	1,8°	1,4°	1,2°	0,6°	1,2°	1,2°	1,4°	1,4°

im Mittel 1,263°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,215°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 2,253°
,, ,, ,, rechter ,, = 1,263°
Im Mittel aus 60 Beobachtungen = 1,75°.

Der Einfluss der Raumlage ist im vorliegenden Falle ein enormer, kann aber bei der relativen Kleinheit der wahrscheinlichen Fehler nicht wohl in Zweifel gezogen werden.

Versuch 103.

Der constante Diameter hat die Richtung von rechts und unten nach links und oben, und bildet mit dem verticalen Meridian einen Winkel von 45°.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter bildet bei scheinbarem Parallelismus der Doppelbilder mit dem senkrechten Meridiane einen Winkel von weniger als 45°. Kreuzungswinkel:

1,8°	1,4°	1,5°	1,6°	1,0°	1,1°	1,2°	1,0°	1,4°	1,0°
1,5°	1,5°	1,2°	1,5°	1,4°	1,1°	1,1°	1,4°	1,6°	1,5°
1,5°	1,5°	2,0°	1,6°	1,1°	2,0°	1,9°	2,0°	2,0°	1,1°

im Mittel 1,45°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,17°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von mehr als 45°. Kreuzungswinkel:

2,0°	1,9°	1,5°	1,7°	1,9°	1,8°	1,5°	1,7°	2,0°	1,5°
1,7°	1,5°	1,5°	1,7°	1,5°	1,7°	1,8°	1,0°	1,5°	1,3°
1,6°	1,6°	1,6°	1,7°	1,7°	1,5°	1,5°	1,5°	1,5°	1,5°

im Mittel 1,62°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,10°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 1,45°
,, ,, ,, rechter ,, = 1,62°
Im Mittel = 1,53°.

Versuch 104.

Der constante Diameter, nach links und oben gerichtet, bildet mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von 60°.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von weniger als 60°. Kreuzungswinkel:

1,7°	1,0°	1,3°	0,9°	1,2°	1,0°	0,9°	0,8°	0,9°	0,2°
1,0°	1,0°	1,0°	1,0°	1,1°	0,8°	0,7°	1,2°	0,8°	1,1°
1,0°	0,7°	0,6°	0,8°	1,0°	1,4°	1,1°	1,4°	0,7°	1,0°

im Mittel 0,98°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,13°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem senkrechten Meridiane einen Winkel von mehr als 60°. Kreuzungswinkel:

1,3°	1,7°	2,1°	1,0°	1,9°	1,5°	0,8°	1,4°	1,5°	1,5°
1,6°	1,1°	2,0°	1,0°	1,6°	1,6°	1,0°	1,0°	0,9°	1,8°
1,8°	1,5°	1,1°	0,9°	1,0°	1,8°	2,1°	1,2°	1,4°	1,7°

im Mittel 1,43°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,224°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 0,98°
,, ,, ,, rechter ,, = 1,43°
Im Mittel = 1,2°.

Versuch 105.

Der constante Diameter nach links und oben gerichtet, bildet mit dem senkrechten Meridiane einen Winkel von 75°.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem senkrechten Meridiane einen Winkel von weniger als 75°. Kreuzungswinkel:

1,0°	1,0°	1,0°	0,8°	0,9°	1,0°	1,1°	1,1°	1,0°	0,9°
0,9°	0,9°	1,0°	0,9°	0,9°	0,9°	1,0°	0,9°	1,1°	1,1°
0,8°	1,2°	0,7°	1,0°	0,9°	0,8°	0,9°	0,9°	0,7°	1,1°

im Mittel 0,95°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,07°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von mehr als 75°. Kreuzungswinkel:

1,0°	1,0°	0,8°	1,1°	1,0°	1,0°	0,7°	1,0°	1,0°	0,7°
1,0°	1,1°	1,0°	1,2°	0,7°	1,1°	0,9°	1,0°	0,8°	1,2°
1,0°	1,0°	1,0°	1,0°	1,0°	1,2°	1,0°	1,2°	0,7°	0,8°

im Mittel 0,97°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,08°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 0,95°
,, ,, ,, rechter ,, = 0,97°
Im Mittel = 0,96°.

Versuch 106.

Der constante Diameter liegt in wagerechter Richtung. Unter diesen Umständen war zur Erzielung von Doppelbildern eine gewisse seitliche Neigung des Kopfes nothwendig. Ich habe diese Neigung so gering als irgend möglich gemacht.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter postulirt eine kleine Neigung nach aussen und unten. Kreuzungswinkel:

0,5°	0,7°	0,6°	0,5°	0,5°	0,4°	0,1°	0,5°	0,3°	0,5°
0,3°	0,4°	0,4°	0,5°	0,7°	0,4°	0,4°	0,7°	0,3°	0,3°
0,3°	0,3°	0,5°	0,3°	0,4°	0,5°	0,4°	0,7°	0,3°	0,6°

im Mittel 0,443°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,08°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter zeigt wiederum eine kleine Abweichung nach aussen und unten. Kreuzungwinkel:

0,7°	0,5°	1,0°	1,0°	0,8°	0,5°	0,5°	0,4°	0,4°	0,6°
0,7°	0,7°	0,6°	0,4°	0,6°	0,4°	0,6°	0,7°	0,3°	0,1°
0,2°	0,8°	0,4°	0,3°	0,6°	0,5°	0,6°	0,6°	0,4°	0,7°

im Mittel 0,553°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,11°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 0,443°
,, ,, ,, rechter ,, = 0,553°
Im Mittel = 0,498°.

Das Ergebniss dieser Versuchsreihe muss mit einem kleinen Fehler behaftet sein. Da nämlich der Kopf ein wenig geneigt wurde, so fiel der constante Diameter nicht genau in den wagerechten Meridian. Gleichwohl handelt es sich um das Verhältniss der horizontalen Trennungslinie zum horizontalen Meridiane. Ich wiederhole daher den Versuch nach einem anderen Principe.

Versuch 107.

Der constante Diameter liegt wagerecht. Die Regulation des mobilen Diameters erfolgt ohne seitliche Neigung des Kopfes, indem sie gar nicht von dem Parallelismus der Doppelbilder abhängig gemacht wird. Ich verlange vielmehr, dass beide Diameter sich vollständig decken, und beim Decken eine möglichst feine, nämlich nicht durch beginnende Kreuzung verdickte, Linie darstellen.

A. Linke Raumlage. Die Stellung des mobilen Diameters wie im vorigen Versuche. Kreuzungswinkel:

0,6°	0,5°	0,6°	0,5°	0,0°	0,1°	0,0°	0,4°	0,5°	0,6°
0,3°	0,4°	0,2°	0,0°	0,1°	0,5°	0,6°	0,0°	0,3°	0,7°
0,6°	0,5°	0,5°	0,5°	0,5°	0,5°	0,8°	0.2°	0,6°	0,3°

im Mittel 0,397°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,13°.

B. Rechte Raumlage. Die Stellung des mobilen Diameters wie im vorigen Versuche. Kreuzungswinkel:

0,1°	0,1°	0,1°	0,6°	0,6°	0,2°	0,4°	0,5°	0,0°	0,5°
0,6°	0,5°	0,1°	0,8°	0,8°	0,8°	0,4°	0,6°	0,4°	0,7°
0,6°	0,5°	0,6°	0,1°	0,6°	0,5°	0,8°	0,6°	0,8°	0,1°

im Mittel 0,467°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,14°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 0,397°
,, ,, ,, rechter ,, = 0,467°
Im Mittel = 0,431°.

Der Kreuzungswinkel ergiebt sich im gegenwärtigen Versuche etwas geringer als im vorigen. Dies ist ein werthvoller Beweis für die Genauigkeit meiner Mittelzahlen. Wenn man nämlich den Einfluss berücksichtigt, welchen die Rücksicht des constanten Diameters auf den Werth des Kreuzungswinkels ausübt, so findet sich, dass die Grösse dieses Winkels abnimmt, je mehr sich die Richtung des constanten Diameters der des horizontalen Meridianes nähert. Durch die geringe Neigung des Hauptes in Versuch 105 wurde bewirkt, dass das Netzhautbild des constanten Diameters nicht genau in den horizontalen Meridian fiel, und musste daher der Kreuzungswinkel sich etwas zu gross herausstellen.

Dies bestätigte auch eine neue Versuchsreihe, welche ich nach einer dritten Methode ausführte. Ich drehte nämlich beide Scheiben gleichzeitig, und stellte mir die Aufgabe, eine wagerechte möglichst scharfe Linie herzustellen. Nun ergab sich im Mittel der 30 Versuche, dass beide Diameter eine Neigung nach aussen und unten zeigten, und ihr Kreuzungswinkel ergab sich, in absoluter Uebereinstimmung mit dem vorigen Versuche, = 0,43°. Der letzte Werth ist also für das Verhältniss der horizontalen Trennungslinie zum horizontalen Meridiane der richtigere.

Versuch 108.

Im Laufe der bisherigen Versuche hat der Diameter, welcher ursprünglich (Versuch 99) vertical stand, eine allmählich zunehmende Neigung nach links, und schliesslich eine wagerechte Lage erhalten. Ich drehe nun die bezügliche Scheibe, wie dies in jedem neuen Versuche geschehen, abermals um 15° weiter nach links, so dass der constante Diameter, nun mit dem senkrechten Meridiane einen stumpfen Winkel von 105° bildet, und die Richtung von oben und rechts nach unten und links annimmt.

A. Linke Raumlage. Der bewegliche Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen stumpfen Winkel von weniger als 105°. Der Kreuzungswinkel der nach oben divergirenden Diameter beträgt:

0,6°	0,6°	0,4°	0,7°	0,6°	0,8°	0,7°	0,7°	0,8°	0,4°
0,3°	0,7°	0,9°	0,7°	0,6°	0,6°	0,6°	0,6°	0,5°	0,7°
0,7°	0,7°	0,6°	0,7°	0,6°	0,7°	0,8°	0,7°	0,9°	0,6°

im Mittel 0,65°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,07°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter schliesst mit dem verticalen Diameter einen stumpfen Winkel von mehr als 105° ein. Kreuzungswinkel:

0,8°	0,6°	0,5°	0,5°	0,8°	0,7°	0,9°	0,8°	0,5°	0,5°
0,6°	0,8°	0,5°	0,4°	0,8°	0,7°	0,4°	0,3°	0,9°	0,6°
0,7°	1,0°	0,4°	0,6°	0,8°	0,7°	0,6°	0,6°	0,7°	0,7°

im Mittel 0,65°.

Wahrscheinlicher Fehler = 0,09°.

Mittel aus beiden Raumlagen = 0,65°.

Versuch 109.

Der constante Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen stumpfen Winkel von 120°.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter schliesst mit dem verticalen Meridiane einen zu kleinen Winkel ein. Kreuzungswinkel:

0,9°	1,5°	0,8°	1,0°	1,0°	1,0°	1,2°	1,5°	1,0°	1,0°
1,0°	1,2°	0,9°	1,0°	1,0°	1,3°	1,4°	1,1°	1,2°	1,2°
1,2°	1,0°	1,0°	0,9°	1,4°	1,0°	1,0°	1,1°	1,2°	1,5°

im Mittel 1,12°.

Wahrscheinlicher Fehler = 0,11°.

B. Rechte Raumlage. Der bewegliche Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen zu grossen Winkel. Kreuzungswinkel:

1,4°	1,0°	1,0°	1,0°	1,3°	1,1°	1,2°	1,0°	1,1°	1,1°
1,0°	1,5°	1,1°	0,8°	1,2°	1,4°	0,7°	1,1°	0,9°	1,5°
0,6°	1,0°	1,0°	1,0°	1,0°	0,6°	1,0°	0,8°	1,1°	1,5°

im Mittel 1,07°.

Wahrscheinlicher Fehler = 0,122°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 1,12°
,, ,, ,, rechter ,, = 1,07°
Im Mittel = 1,1°.

Versuch 110.

Der constante Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen stumpfen Winkel von 135°.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem senkrechten Meridiane einen Winkel von weniger als 135°. Kreuzungswinkel:

1,5°	1,1°	1,3°	1,8°	1,6°	1,6°	1,1°	1,5°	1,6°	1,3°
1,4°	1,5°	1,2°	1,6°	1,7°	2,0°	2,0°	1,5°	1,6°	1,4°
1,3°	1,1°	1,7°	2,0°	1,5°	1,0°	2,0°	1,2°	1,4°	1,5°

im Mittel 1,5°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,15°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen zu grossen Winkel. Kreuzungswinkel:

1,6°	1,4°	1,5°	1,6°	1,3°	1,5°	1,1°	1,6°	2,0°	1,2°
1,6°	1,2°	1,7°	1,7°	1,2°	1,5°	1,1°	1,6°	1,5°	1,7°
1,3°	1,5°	1,6°	1,5°	1,7°	1,4°	1,3°	1,4°	1,5°	1,6°

im Mittel 1,48°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,109°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 1,50°
,, ,, ,, rechter ,, = 1,48°
Im Mittel = 1,49°.

Versuch 111.

Der constante Diameter schliesst mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von 150° ein.

A. Linke Raumlage. Der bewegliche Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen zu kleinen Winkel. Kreuzungswinkel:

1,4°	1,9°	1,8°	2,0°	1,6°	1,7°	1,8°	2,0°	2,2°	2,0°
2,0°	1,7°	1,9°	2,0°	1,7°	2,2°	1,4°	2,0°	2,0°	1,9°
2,3°	2,0°	1,9°	2,1°	1,7°	2,0°	1,7°	1,8°	1,9°	1,9°

im Mittel 1,88°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,11°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem senkrechten Meridiane einen zu grossen Winkel. Kreuzungswinkel:

1,4°	1,9°	1,7°	1,8°	1,3°	1,4°	1,8°	2,0°	1,7°	1,5°
1,7°	1,9°	1,7°	1,6°	1,6°	2,0°	1,9°	2,0°	2,1°	1,7°
1,5°	2,0°	1,9°	1,5°	1,7°	1,9°	1,7°	1,3°	1,6°	2,0°

im Mittel 1,73°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,125°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 1,88°
,, ,, ,, rechter ,, = 1,73°
Im Mittel = 1,80°.

Versuch 112.

Der constante Diameter schliesst mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von 165° ein.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane wie in allen vorhergehenden Versuchen einen zu kleinen Winkel. Kreuzungswinkel:

1,9°	2,0°	2,0°	2,0°	2,2°	1,9°	2,0°	1,8°	2,0°	1,8°
1,7°	2,2°	2,0°	2,0°	2,0°	2,1°	1,9°	1,7°	1,9°	2,3°
1,9°	2,2°	1,7°	2,0°	1,9°	1,7°	2,2°	1,9°	1,9°	1,5°

im Mittel 1,94°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,09°.

B. Rechte Raumlage. Der bewegliche Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane wie in allen vorhergehenden Fällen einen zu grossen Winkel. Kreuzungswinkel:

1,9°	1,6°	1,9°	1,9°	1,9°	1,7°	2,2°	2,1°	1,5°	2,3°
1,9°	2,1°	1,6°	2,1°	1,9°	2,4°	1,8°	2,2°	1,5°	1,9°
2,0°	1,6°	2,1°	2,2°	1,6°	2,0°	2,0°	2,2°	1,7°	2,0°

im Mittel 1,93°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,13°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 1,94°
,, ,, ,, rechter ,, = 1,93°
Im Mittel = 1,94°.

Eine Bemerkung, welche für alle vorstehende Versuche gilt, ist folgende: Wenn ich die beiden Diameter, welche parallel erscheinen, aber in Wahrheit nach oben divergiren, mit parallelen Augenaxen betrachte, so sehe ich eine einfache scharfe Linie, ohne Andeutung von Tiefendimensionen. Wahrscheinlich beruht die Unmerkbarkeit der letzteren auf der Kleinheit der Kreuzungswinkel. Jedenfalls ist anzunehmen, dass Tiefenanschauungen erst eintreten, wenn der Unterschied der Richtung der stereoskopisch verschmolzenen Linien eine gewisse Höhe erreicht hat.

Um die Ergebnisse meiner weitläufigen Versuche übersichtlich zu machen, will ich sie in einer Tabelle zusammenstellen. Das Verständniss derselben wird keine Schwierigkeiten machen, wenn man erwägt, dass es darauf ankommt zu zeigen, wie weit die Trennungslinien von den correspondenten Meridianen abweichen. In der ersten Columne der nachstehenden Tabelle ist die durch den constanten Diameter bestimmte Lage des Meridians

bemerkt, für welchen die Theilungslinie gesucht wird. Die zweite Columne giebt die Lage der mit Hülfe des mobilen Diameters gefundenen Trennungslinie. In der dritten Columne findet man die Grösse des Kreuzungswinkels, in der vierten die Nummer des Versuches. Anlangend die Zahlen der Grade, so lege ich den Nullpunkt in das obere Ende des verticalen Meridians, und zähle von da ab nach links und unten.

Tabelle

über die Abweichung der Trennungslinien von den correspondenten Meridianen.

Lage			
des Meridians,	der Trennungslinie.	Kreuzungswinkel.	Versuch.
0°	357,85°	2,15°	100
15°	12,95°	2,05°	101
30°	28,25°	1,75°	102
45°	43,47°	1,53°	103
60°	58,8°	1,20°	104
75°	74,04°	0,96°	105
90°	89,57°	0,43°	107
105°	104,35°	0,65°	108
120°	118,9°	1,10°	109
135°	133,51°	1,49°	110
150°	148,19°	1,81°	111
165°	163,06°	1,94°	112
180°	177,85°	2,15°	100

In Worten: Die Trennungslinien coincidiren nirgends mit den correspondenten Meridianen der Normalstellung des Auges.

Die Winkel, unter welchen beide sich kreuzen, nehmen vom verticalen Meridiane nach dem horizontalen Meridiane stetig ab, und vom horizontalen Meridiane weiter, gegen den verticalen Meridian hin unablässig zu. Dabei zeigt sich, dass die Winkelwerthe im zweiten Quadranten nahezu im umgekehrten Verhältnisse wachsen, wie sie im ersten Quadranten abnahmen.

Betrachtet man, wie wohl mit Recht, die kleinen Abweichungen der Winkelwerthe vom umgekehrten Verhältnisse als zufällige, so könnte man die vorstehende Tabelle nicht nur vereinfachen, sondern auch verbessern, wenn man aus je zwei sich entsprechenden Fällen (also beispielsweise Meridian 15° und 165°, oder 30° und 150° etc.) die halbe Summe der Winkelwerthe berechnete.

Bezeichnet man den spitzen Winkel, welchen ein beliebiger Meridian mit dem verticalen Meridiane einschliesst, allgemein mit *W* und den zugehörigen Kreuzungswinkel der Trennungslinien mit *K*, so reducirt sich die vorstehende Tabelle auf folgende, für jeden Quadranten des Sehfeldes gültige:

zusammengehörige Werthe von *W*	und von *K*
0°	2,15°
15°	1,99°
30°	1.78°
45°	1,51°
60°	1,11°
75°	0,81°
90°	0,43°

§ 90. Die gewonnenen Resultate sind für die Physiologie des Auges so wichtig und widersprechen andrerseits den jetzt geltenden Voraussetzungen so vielfältig, dass ich eine weitere Begründung derselben für sehr wünschenswerth halte.

Es würde meines Erachtens zu wenig führen, die sämmtlichen Versuchsreihen mit Hülfe des bisher benutzten Experimentalverfahrens zu wiederholen. Jeder Mittelwerth meiner Kreuzungswinkel stützt sich auf nicht weniger als 60 Beobachtungen, und es ist bei der Kleinheit der wahrscheinlichen Beobachtungsfehler höchst unwahrscheinlich, dass sich durch eine weitere Häufung der Versuche, erheblich andre Resultate erzielen lassen sollten. Weit zweckmässiger ist unstreitig, durch Veränderung der Versuchsmethode neue Angriffspunkte zu gewinnen und den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern eine andere Richtung zu geben.

Wenn es richtig ist, dass die Trennungslinien und die correspondenten Meridiane nicht zusammenfallen, so folgt hieraus nicht nur, dass zwei auf beide Drehscheiben vertheilte und unter Winkeln von 90° sich schneidende Diameter bei directer Betrachtung nicht den Anblick eines rechtwinkligen Kreuzes gewähren können, sondern es muss sich auf Grundlage meiner Tabelle auch berechnen lassen, unter welchen andern Winkeln die Diameter sich schneiden müssten um den Schein einer rechtwinkligen Kreuzung hervorzubringen.

Gesetzt der eine Diameter liege unter dem Meridiane m, der andere unter dem Meridiane n, und die bezüglichen Kreuzungswinkel der letzteren seien x und y, so wird der Schein rechtwink-

liger Kreuzung nur eintreten können, wenn beide sich unter dem Winkel $= 90^0 \mp \frac{x+y}{2}$ schneiden. Denn offenbar muss jeder Diameter, je nach seiner Lage, unter dem einen oder andern Meridiane, *pro rata parte* an der Verzerrung der rechten Winkel Theil haben.

Ich will nun zeigen in wie weit die Beobachtungen diesen theoretischen Ansprüchen Genüge leisten.

Versuch 113.

Der constante Diameter liegt horizontal. Die Aufgabe geht dahin, den mobilen Diameter so zu stellen, dass der Schein rechtwinkliger Kreuzung eintritt.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter nähert sich der rechten Richtung, neigt aber nach rechts, und bildet mit dem verticalen Meridiane folgenden Kreuzungswinkel:

1,0°	1,1°	1,3°	1,2°	1,3°	1,0°	1,0°	1,3°	1,4°	1,0°
0,9°	1,0°	0,8°	1,1°	0,9°	0,9°	1,2°	1,1°	1,1°	1,8°
0,9°	1,0°	1,4°	1,4°	1,1°	1,1°	1,2°	1,2°	1,1°	1,2°

im Mittel 1,12°.

Wahrscheinlicher Fehler = 0,092°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile, angenähert senkrechte Diameter hat eine Neigung nach links. Sein Kreuzungswinkel mit dem verticalen Meridiane beträgt:

1,2°	1,7°	1,4°	1,3°	1,9°	1,5°	1,4°	1,5°	1,5°	1,8°
1,5°	1,4°	1,7°	1,6°	1,5°	1,3°	1,5°	1,6°	1,6°	1,6°
1,5°	1,7°	1,4°	1,6°	1,8°	1,3°	1,2°	1,5°	1,4°	1,3°

im Mittel 1,51°.

Wahrscheinlicher Fehler = 0,091°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 1,12°
,, ,, rechter ,, = 1,51°
Im Mittel = 1,32°

Dieser Winkel soll sein $= \frac{x+y}{2}$, nun ist:

x = Kreuzungswinkel unter 0° = 2,15°
y = ,, 90° = 0,43°
Summe = 2,58°
halbe Summe = 1,29°

Ein Werth, welcher von dem gefundenen = 1,32° nur um − 0,03° differirt!

Versuch 114.

Der constante Diameter liegt schief, von rechts und unten, nach links und oben gerichtet, und bildet mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von 30°.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter müsste, um den vorigen rechtwinklig zu kreuzen, unter dem Meridian 120° stehn. Er liegt aber constant unter einem weniger hohen Grade, und kreuzt sich mit dem verlangten unter folgenden Winkeln:

2,1°	2.1°	1,8°	2,5°	1,4°	2,2°	2,0°	2,2°	1,5°	1,2°
1,8°	2,5°	2,4°	2,5°	1,9°	1,7°	1,7°	2,5°	2,0°	1,0°
1,7°	1,5°	1,0°	2,3°	2,1°	1,4°	1,6°	1,5°	1,8°	1,1°

im Mittel 1,83°.

Wahrscheinlicher Fehler = 0,257°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter steht unter einem Meridiane, dessen Gradzahl 120 übersteigt. Der Ueberschuss beträgt.

1,2°	1,2°	1,4°	0,6°	1,0°	0,4°	1,9°	1,7°	1,1°	1,8°
1,8°	1,1°	0,8°	1,5°	1,2°	1,3°	1,4°	1,8°	1,1°	1,0°
1,1°	1.7°	1,4°	1,9°	1,5°	0,9°	1,8°	1,2°	0,9°	1,2°

im Mittel 1,30°.

Wahrscheinlicher Fehler = 0,22°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 1,83°
,, ,, rechter ,, = 1,30°
Im Mittel = 1,56°

Nun ist nach der Tabelle:

x, d. h. der Kreuzungswinkel unter 30° = 1,75°
y, d. h. ,, ,, ,, 120° = 1,10°
Summe = 2,85°

$$\frac{x+y}{2} = 1{,}43^0$$

Der Unterschied des gefundenen und des berechneten Werthes beträgt — 0,13°.

Versuch 115.

Der constante Diameter liegt schief von rechts und unten nach links und oben und schliesst mit dem verticalen Meridiane einen Winkel von 60° ein.

A. Linke Raumlage. Der mobile Diameter würde, um den constanten rechtwinklig zu kreuzen, unter 150° stehn müssen,

aber der stumpfe Winkel, welchen er mit dem verticalen Meridiane einschliesst, ist kleiner, und beträgt das Deficit:

1,8°	1,8°	2,0°	2,4°	1,9°	2,2°	1,4°	2,5°	2,7°	1,9°
1,4°	1,4°	1,4°	1,0°	1,5°	1,1°	1,3°	0,9°	1,4°	1,1°
1,1°	1,8°	0,9°	1,1°	1,7°	1,4°	1,1°	1,9°	0,9°	1,2°

im Mittel 1,54°.

Wahrscheinlicher Fehler = 0,28°.

B. Rechte Raumlage. Der mobile Diameter bildet mit dem verticalen Meridiane einen stumpfen Winkel von mehr als 150°, das Mehr beträgt:

1,3°	1,4°	1,9°	2,0°	1,9°	1,5°	1,2°	1,4°	1,9°	1,9°
1,9°	1,7°	1,0°	2,0°	2,0°	1,9°	1,4°	1,9°	1,5°	1,7°
2,4°	1,5°	1,9°	1,0°	1,6°	1,4°	2,1°	1,1°	1,0°	1,4°

im Mittel 1,63°.

Wahrscheinlicher Fehler = 0,21°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 1,54°
,, ,, ,, rechter ,, = 1,63°
Im Mittel = 1,58°

Nun ist aber

x, d. h. Kreuzungswinkel unter 60° = 1,2°
y, d. h. ,, ,, ,, 150° = 1,81°
Summe = 3,01°

$\frac{x+y}{2} = 1,56°$

Demnach beträgt der Unterschied des berechneten Werthes von dem gefundenen — 0,02°.

Man sieht hieraus, dass die beiden in Vergleich gestellten Versuchsmethoden zu denselben Resultaten führen, denn die Differenzen der aus den frühern Versuchen berechneten Winkelwerthe und der in den letzten Versuchen direct gefundenen, ist nicht nur nicht grösser sondern sogar merklich kleiner als die wahrscheinlichen Beobachtungsfehler.*)

*) Diese vortreffliche Uebereinstimmung der Versuche bei so bedeutenden Schwankungen in den einzelnen Fällen ist sehr bemerkenswerth. Sie beweist, dass die Summe von 60 Beobachtungen, 30 für jede Raumlage, zur Begründung der Mittelwerthe ungefähr ausreicht, und erlaubt anzunehmen, dass auch die sehr ansehnlichen constanten Fehler, welche von der Wahl der Raumlage abhängen, durch die Berechnung der halben Summen der linkerseits und rechterseits gefundenen Winkelwerthe, wirklich ausgeglichen worden sind.

§ 91. Man darf im Voraus erwarten, dass die Kreuzungswinkel der Trennungslinien bei verschiedenen Individuen verschiedene Werthe haben, aber interessant ist die Frage, ob die bei mir so auffällige Abhängigkeit der Winkelgrössen von der Gradzahl der Meridiane auf einem allgemeinen Gesetze beruhe. Die wenigen Erfahrungen, welche ich bis jetzt hierüber sammeln konnte, begünstigen diese Voraussetzung. Ich will die hierher gehörigen Versuchsreihen im Auszuge vorlegen, und bemerke im Allgemeinen, dass sie sämmtlich mit Hülfe meiner Drehscheiben, nach der im Obigen beschriebenen Methode gewonnen sind. Die Aufgabe war demnach überall die, parallele Doppelbilder zu erzeugen. Diese Aufgabe schien nur dann gelöst, wenn die Diameter nach oben divergirten und sich also unter einem gewissen Winkel schnitten. Um Raum zu sparen, werde ich die mit dem linken und rechten Auge angestellten Beobachtungen gleich im Mittelwerthe zusammenziehn und nur die Grade der Meridiane und die Werthe der zugehörigen Kreuzungswinkel notiren. Dies verhindert mich die für die linke und rechte Raumlage berechneten wahrscheinlichen Beobachtungsfehler speciell anzuführen, und begnüge ich mich im Allgemeinen zu bemerken, dass diese Fehler sich in den nachstehenden Versuchsreihen eben so unerheblich herausstellten, als in den meinigen.

Versuch 116.

Angestellt von Herrn Professor H. Welcker, basirt auf 20 Versuche mit dem linken und 20 mit dem rechten Auge. Es combiniren sich folgende Werthe.

Meridian	Kreuzungswinkel
0°	1,99°
30°	1,41°
60°	1,11°
90°	0,72°

Versuch 117.

Angestellt von meinem Assistenten H. stud. med. Käberl. Es wurden 30 Beobachtungen mit linker und 30 mit rechter Raumlage angestellt.

Meridian	Kreuzungswinkel
0°	1,2°
30°	0,8°
60°	0,49°
90°	0,26°

Versuch 118.

Angestellt von H. Dr. Schweigger-Seidel. 30 Beobachtungen für jede Raumlage.

Meridian	Kreuzungswinkel
0°	1,44°
30°	1,15°
60°	0,79°
90°	0,43°
120°	0,74°
150°	1,14°
180°	1,44°

Aus den drei letzten Versuchsreihen ergiebt sich, dass die für mein Auge geltenden gesetzlichen Verhältnisse auch für die Herren Welcker, Kähler und Schweigger-Seidel maassgebend sind. In allen Fällen nämlich nimmt die Grösse des Kreuzungswinkels vom verticalen Meridiane nach dem horizontalen unablässig ab. Natürlich folgt hieraus nicht, dass ein Gesetz, welches für vier Personen gilt, für Alle gelte, und ich will ausdrücklich bemerken, dass eine, freilich unvollendet gebliebene und deshalb nicht hinreichend gesicherte, Versuchsreihe eines meiner Schüler andeutet, dass der Maximalwerth des Kreuzungswinkels nicht constant in den verticalen Meridian falle. Dagegen glaube ich die Behauptung, dass die sogenannten verticalen Trennungslinien von der Richtung der verticalen Meridiane ohne Ausnahme abweichen, und zwar in der Weise, dass sie bei der Normalstellung des Auges nach oben divergiren, allerdings vertreten zu können. Wer die Fähigkeit besitzt, mit parallelen Augenaxen stereoskopische Beobachtungen anzustellen, kann sich von der Richtigkeit meiner Angabe sehr leicht überzeugen. Man biete dem linken Auge eine wagerechte Linie, deren Mitte durch einen auffälligen Punkt deutlich hervorgehoben ist, und dem rechten Auge eine Senkrechte, deren Abstand von dem eben erwähnten Punkte genau so gross ist als die gegenseitige Entfernung der Augenmitten. Betrachtet man diese Linien so, dass die Senkrechte den Mittelpunkt der Wagerechten schneidet, so erblickt man kein rechtwinkliges Kreuz, sondern ein schiefes,

dessen linker oberer und rechter unterer Winkel kleiner als rechte sind. Will man den Anblick eines rechtwinkligen Kreuzes hervorrufen, so muss man der verticalen Linie im rechten Sehfelde eine um etwa 2 Grade nach rechts neigende Schiefe substituiren.

§ 92. Eine Frage von grösster Wichtigkeit ist die, ob Versuche mit Doppelbildern, welche selbstverständlich nicht von einer Erregung der Trennungslinien selbst abhängen können, über die Lage dieser zuverlässige Aufschlüsse geben. Ich habe den Grundgedanken Meissner's, welcher die Doppelbilder zuerst zur Bestimmung der Decklinien und des Horopters benutzte, oben entwickelt (§ 89) und begnüge mich in der Kürze zu erwähnen, dass Hering gegen die Zulässigkeit der Meissner'schen Betrachtungen verschiedene Bedenken erhoben hat.*)

Statt eine Kritik wieder kritisch zu beleuchten, ziehe ich vor Thatsachen vorzulegen, welche die Brauchbarkeit der Doppelbilder zur Bestimmung der Trennungslinien ausser Zweifel setzen. Zur Verständigung vorher Folgendes:

Die stereoskopischen Erfahrungen lehren, dass auch Linien von verschiedener Form und Richtung zu einheitlichen Erscheinungen verschmelzen können. Da nun verschieden geformte Linien, wenn sie dem linken und dem rechten Auge geboten werden, unmöglich auf correspondente Netzhautpunkte fallen können, so fragt es sich ob die Identitätslehre, welche das Einfachsehn aus der Erregung identischer Netzhautpunkte ableitet, nicht an diesen Erfahrungen scheitre. Auch wenn man diese Frage verneint muss zugegeben werden, dass ein stereoskopischer Versuch, welcher lehrt, dass zwei gegebene Linien bei binocularer Betrachtung verschmelzen, darüber ob die einheitliche Erscheinung von identischen Punkten ausgehe, nicht entscheiden und folglich auch die Frage, welche Richtung die Trennungslinien haben, nicht lösen könne. Dies der Grund warum Meissner in der Horopterfrage die stereoskopischen Verschmelzungen geflissentlich vermied und bei den Doppelbildern Belehrung suchte.

Wenn man nun zweifelt, ob die Richtung der Doppelbilder zu Schlüssen auf die Richtung der Trennungslinien berechtige, so muss man Versuche anstellen, welche weder zum Auftreten von

---

*) Beiträge zur Physiologie von Dr. E. Hering. 3. Heft. S. 210.

Doppelbildern, noch zu den stereoskopischen Verschmelzungen Gelegenheit geben. Solche Versuche sind ausführbar und rechtfertigen das von Meissner benutzte Experimentalverfahren vollständig.

Versuch 119.

Vor einem weissen Hintergrunde wird ein feiner schwarzseidner Faden aufgehangen, welcher an seinem untern Ende mit einem Gewichte beschwert ist. Ich fixire diesen Faden bei horizontaler Blickrichtung und operire so, dass ich dem einen Auge die obere, dem anderen Auge die untere Hälfte des Fadens wegblende. Geschieht dies, so erscheint der Faden nicht gerade sondern gebrochen, so also, dass die beiden Fadenhälften einen stumpfen Winkel bilden. Hat man die obere Fadenhälfte dem linken Auge weggeblendet, so öffnet sich der stumpfe Winkel nach links, hat man sie dem rechten Auge weggeblendet, so liegt die Oeffnung des Winkels nach rechts.

Der Versuch beweist, dass die verticalen Meridiane, in welche die Fadenbilder zu liegen kommen, nicht mit den verticalen Trennungslinien zusammenfallen (also beiläufig auch, dass die räumliche Erscheinung nicht von der Projection der Empfindung abhänge), und berechtigt zu der Annahme Meissner's, dass die verticalen Trennungslinien bei der hier stattfindenden Augenstellung nach oben divergiren. In so fern die Vermeidung der Doppelbilder das Wesentliche der Erscheinung nicht ändert, scheint für den vorliegenden Fall wenigstens, d. h. bei horizontaler und convergenter Blickrichtung, das Meissner'sche Experimentalverfahren gerechtfertigt. Es bleibt nur zu untersuchen übrig, ob für die Normalstellung dasselbe gelte, und in wie weit zwei Versuchsreihen, deren eine mit Doppelbildern, die andere ohne Doppelbilder angestellt wird, in den Zahlen übereinstimmen.

Ich experimentirte wieder mit Drehscheiben, auf welchen aber statt der Diameter Radien angebracht waren Stellt man letztere von vorn herein so, dass beide unter entsprechenden Meridianen, aber vom Centrum gegen die Peripherie sich diametral gegenüber liegen, so erblickt man im binocularen Versuche eine in der Mitte der Scheibe gebrochene Linie. Die Aufgabe des Beobachters geht nun dahin, bei horizontaler und paralleler Axenstellung die Radien so zu stellen, dass sie das Bild einer geraden,

das Centrum der einfach erscheinenden Scheibe schneidenden Linie gewähren. Der Erfolg lehrt, dass in jedem Falle, wo dieser Anschein eintritt, die Radien unter ungleichen Meridianen liegen. Die bezüglichen Meridiane divergiren ohne Ausnahme nach oben, und kehrt also das Gesetz wieder, welches sich in allen meinen Diameter-Versuchen herausgestellt hat.

Ich verfahre wieder in der Weise, dass der eine Radius für die gesammte Versuchsreihe constant, der andere dagegen beweglich ist. Ich werde im Nachstehenden die Richtung des letztern nicht besonders angeben, da sie sich aus dem eben erwähnten Gesetze von selbst ergiebt, vielmehr begnüge ich mich mit der Angabe der Kreuzungswinkel, und notire der Bequemlichkeit wegen überall die Werthe der spitzen Winkel, unter welchen die verlängert gedachten Radien sich kreuzen.

Versuch 120.

Der constante Radius steht vertical.

A. Linke Raumlage. Der Kreuzungswinkel beträgt:

2,0°	2,2°	1,4°	2,1°	2,5°	3,0°	2,8°	2,5°	2,0°	2,4°
2,0°	2,5°	1,8°	2,0°	2,4°	1,9°	1,9°	2,0°	1,9°	2,7°
2,0°	1,8°	1,9°	1,9°	2,4°	2,6°	2,5°	2,3°	2,1°	1,2°

im Mittel 2,16°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,22°.

B. Rechte Raumlage. Der Kreuzungswinkel beträgt:

2,0°	2,1°	1,8°	2,0°	2,1°	2,0°	1,7°	2,0°	2,8°	2,0°
1,5°	2,4°	2,9°	1,7°	2,5°	2,4°	2,0°	1,5°	2,0°	3,0°
2,0°	1,7°	2,6°	2,0°	2,3°	2,0°	2,1°	2,1°	2,4°	2,7°

im Mittel 2,14°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,21°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 2,16°
" " " rechter " = 2,14°
Im Mittel = 2,15°.

Der analoge Versuch 99, mit Doppelbildern, hatte genau denselben Werth ergeben.*)

---

*) Da auch Versuch 112 auf einen ganz entsprechenden Werth hinweist, so fusst meine Angabe über den Kreuzungswinkel im senkrechten Meridiane, nun auf 3, der Methode nach verschiedenen Versuchsreihen, welche zusammengenommen 180 Beobachtungen umfassen.

Versuch 121.

Der constante Radius liegt wagerecht.

A. Linke Raumlage. Kreuzungswinkel:

0,2°	0,5°	0,5°	0,3°	0,4°	0,4°	0,8°	0,5°	0,3°	0,1°
0,3°	0,5°	0,6°	0,7°	0,7°	0,5°	0,5°	0,2°	0,4°	0,8°
0,1°	0,7°	0,1°	0,1°	0,5°	0,8°	0,2°	0,4°	0,3	0,6°

im Mittel 0,46°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,125°.

B. Rechte Raumlage. Kreuzungswinkel:

0,5°	0,4°	0,5°	0,5°	0,6°	0,4°	0,6°	0,5°	0,4°	0,4°
0,6°	0,4°	0,1°	0,3°	0,5°	0,7°	0,3°	0,6°	0,7°	0,4°
0,6°	0,5°	0,0°	0,5°	0,1°	0,1°	0,4°	0,7°	0,5°	0,6°

im Mittel 0,463°.

Wahrscheinlicher Beobachtungsfehler = 0,096°.

Kreuzungswinkel bei linker Raumlage = 0,46°
,, ,, ,, rechter ,, = 0,463°
Im Mittel = 0,46°.

Der mit Doppelbildern ausgeführte Versuch 106, welcher mit einem zweiten absolut übereinstimmte, ergab statt dessen den Werth 0,43°, und differiren also die mit Hülfe von Radien angestellten Experimente nur um 0,03°.

Meissner's ingeniöse Versuchsmethode bewährt sich also vollständig, und sind demnach meine Winkelmessungen auch von Seiten der Methode nicht angreifbar.

Ich will schliesslich noch bemerken, dass ich für die Versuche mit Diametern und Radien zwei besondere Instrumente benutzt habe, ein Umstand, welcher für die Kritik meiner Arbeit nicht gleichgültig ist. Da das Hauptresultat derselben darin besteht, dass die Trennungslinien von den correspondenten Meridianen abweichen, und zwar unter verschiedenen Meridianen in verschiedenem Maasse abweichen, so war es wichtig zu untersuchen, ob die allerdings kleinen Abweichungen, oder wenigstens die noch viel kleineren Differenzen derselben, nicht etwa auf einer Ungenauigkeit des Instrumentes beruhten. Die Uebereinstimmung der Resultate, welche mit zwei verschiedenen Instrumenten erzielt wurden, erledigt alle Bedenken.

§ 93. Der letzte Zweifel, welcher eine gründliche Untersuchung erfordert, ist der, ob die von mir gefundenen Kreuzungswinkel die ihnen gegebene Deutung gestatten. Ich habe sie nach

MEISSNER's Vorgange auf das Auseinanderfallen der correspondenten Meridiane einerseits und der Trennungslinien andrerseits bezogen, man kann aber fragen, ob sie nicht vielmehr von Asymmetrien der brechenden Medien abhängen.

Die Deutung MEISSNER's dürfte unabweislich sein, wenn eine seiner Angaben sich bestätigte, deren Richtigkeit ich jedoch nicht zugeben kann. Nach MEISSNER ist der Widerspruch zwischen der scheinbaren Richtung der Doppelbilder und der wirklichen Richtung des zugehörigen Objectes, an die Coexistenz der beiden Doppelbilder gebunden; in der Weise, dass nach Verschluss des einen der beiden Augen, die scheinbare und die reale Richtung des Dinges übereinstimmen. So soll beispielsweise eine zarte wagerechte Linie, welche mit beiden Augen fixirt wird im gekreuzten Doppelbilde, bei monocularer Betrachtung dagegen vollkommen horizontal erscheinen. Dies bestätigt sich bei genauen Versuchen nicht. Ich experimentire mit folgendem Apparate.

Auf einem schwarz polirten Brete von 400^{mm} Länge und 150^{mm} Breite ist ein matt versilbertes Lineal nach Art eines Uhrweisers angebracht. Es dreht sich nämlich um einen centralen Stift, und kann daher eine über die ganze Länge desselben gezogene schwarze Linie, jede beliebige Richtung erhalten. An dem einen Ende des Lineals ist eine feine Spitze angebracht, welche auf einen graduirten Bogen weist und hiermit die Lage der Linie in jedem Falle genau zu bestimmen gestattet. Nachdem man diese Spitze genau auf 0^0 eingestellt, befestigt man das Bret, gerade vor den Augen an einer senkrechten Wand, und giebt der Linie, welche beobachtet werden soll, entweder mit Hülfe des Lothes eine absolut senkrechte, oder mit Hülfe der Wasserwaage eine genau horizontale Stellung.

Zur Durchführung der monocularen Beobachtung ist unerlässlich, dass die Augenaxe senkrecht zur betrachteten Linie stehe. Um diese Stellung zu sichern, ist in der Mitte der zu fixirenden Linie, also im Drehpunkte des Lineals, eine zwei Zoll lange Nadel, senkrecht auf letzterem angebracht. Der Beobachter hat sich in jedem Versuche so zu stellen, dass er von dieser Nadel nur den Kopf sieht.

Versuch 122.

Ich stelle mir die Aufgabe bei monocularer Betrachtung mit dem linken Auge die Linie horizontal zu stellen. Dies gelang in 30 Versuchen nur 4 Mal. Im Mittel sämmtlicher, nicht auffallend schwankender Beobachtungen stand das linke Ende um 0,203° zu tief.

Versuch 123.

Gleicht dem vorigen, nur operire ich mit dem rechten Auge. In 6 Fällen gelingt die beabsichtigte Herstellung der wagerechten Stellung, in 4 Fällen hängt die Linie ein wenig nach links, in 20 Fällen dagegen nach rechts. Im Mittel der 30 Beobachtungen steht das rechte Ende der Linie um 0,233° zu tief.

Die scheinbar Wagerechten kreuzen sich also im Mittel von 60 Versuchen unter einem Winkel = 0,203° + 0,233° = 0,436° d. h. unter einem Winkel, welcher dem Werthe des Kreuzungswinkels im horizontalen Meridiane genau gleichkommt (Vers. 107).

Versuch 124.

Ich beabsichtige wieder die Herstellung einer Horizontalen, experimentire aber binocular. Nun gelingt die Lösung der Aufgabe 12 Mal in 30 Versuchen. In 12 Fällen neigt die Linie ein wenig zur Rechten, in 6 Fällen ein wenig zur Linken und steht im Mittel sämmtlicher Versuche mit ihrem rechten Ende um 0,013° zu tief.

Versuch 125.

Ich beabsichtige in monocularen Versuchen mit dem linken Auge die Linie senkrecht zu richten. Dies gelingt nie, weil eine Senkrechte dem linken Auge merklich schief, mit Neigung nach rechts erscheint. Immer gebe ich der intendirt Senkrechten eine Neigung nach links. Die Abweichung vom Lothe beträgt im Mittel von 30 Beobachtungen 1,307°.

Versuch 126.

Ich wiederhole den Versuch mit dem rechten Auge. Die Linie erhält ohne Ausnahme eine Neigung nach rechts. Im Mittel von 30 Versuchen beträgt die Abweichung vom Lothe 0,82°. Die Linien, welche einerseits das linke andrerseits das rechte Auge für

senkrecht erachtet, kreuzen sich also unter einem Winkel von 1,307° + 0,82° = 2,127°. Dieser Winkel kommt höchst approximativ dem Kreuzungswinkel der verticalen Trennungslinien gleich (Vers. 99).

Versuch 127.

Ich experimentirte mit **beiden** Augen und suchte wieder eine Senkrechte herzustellen. Dies gelang 6 Mal in 30 Versuchen, welche ein vorwiegendes Abweichen nach links kundgaben. Im Mittel sämmtlicher Versuche hatte nämlich die Linie eine Neigung von 0,11° nach links.

Versuch 128.

Vollkommen entsprechende Resultate erhält Herr Dr. Schweigger-Seidel. Eine senkrechte Linie erscheint ihm nur senkrecht, wenn er sie mit beiden Augen fixirt, dagegen nach rechts neigend, wenn er das linke Auge allein benutzt, und nach links neigend, wenn das rechte Auge ausschliesslich zum Sehen dient.

In 30 Versuchen, welche mit dem linken Auge angestellt wurden, führte das Bestreben eine Senkrechte herzustellen ohne Ausnahme zu falscher Richtung nach links, mit einer Neigung von 0,663° im Mittel. Bei 30 Versuchen mit dem rechten Auge neigte die intendirt Senkrechte immer nach rechts und ergab sich im Mittel sämmtlicher Versuche eine Abweichung von 0,657°.

Auch hier kreuzen sich die Linien, welche bei monocularer Betrachtung senkrecht erscheinen, und beträgt der Winkel in gegenwärtigem Falle 0,663° + 0,657° = 1,320°. Man erinnere sich, dass Schweigger in dem analogen Versuche mit verticalen Diametern (Nr. 117) einen Kreuzungswinkel von 1,44° erhielt, also einen Werth, dessen Unterschied von dem eben bemerkten in die Beobachtungsfehler fällt.

Es ist also nicht begründet, dass das Fehlerhafte in der Richtung der Doppelbilder von deren Coexistenz im gemeinschaftlichen Sehfelde abhänge. Jede monoculare Betrachtung einer Linie ist mit einer Täuschung über ihre Richtung verbunden, und nur weil die scheinbare Abweichung von der wahren Raumlage in dem einen und dem andern Auge nach entgegengesetzter Seite erfolgt, ist die Fehlerhaftigkeit in der Richtung der Doppelbilder viel auffälliger.

Das Wichtigste in den eben mitgetheilten Erfahrungen ist aber der Umstand, dass der Winkel, um welchen eine monocular betrachtete Linie, von bestimmter Richtung, sich scheinbar verdreht, dem halben Kreuzungswinkel der Trennungslinien von entsprechender Richtung gleich kommt. Es ist unverkennbar, dass die in den Diameterversuchen berücksichtigten Differenzen, zwischen der scheinbaren und wirklichen Lage, welche in den Kreuzungswinkeln ihr Maass fanden, mit den eben erörterten Abweichungen monocular betrachteter Linien ursächlich zusammenhängen.

Erst nach Vollendung der vorstehenden Versuche habe ich bemerkt, dass v. Recklinghausen schon vor längerer Zeit Entsprechendes gesehn und veröffentlicht hat.*) Er giebt an, dass ein rechtwinkliges Kreuz, dessen Mittelpunkt mit einem Auge scharf fixirt wird, fast in keiner Stellung rechtwinklig erscheine, und leitet dies von der mangelhaften Centrirung des Auges ab, welche durch die Untersuchungen von Helmholtz allerdings nachgewiesen ist.**)

Ich muss bekennen, dass mir die angeführte Arbeit in mehreren Punkten unklar geblieben ist, und darf ich also über die Gültigkeit der Gründe, mit welchen der Verfasser seine Hypothese unterstützt, nicht urtheilen. Indess bin ich bemüht gewesen, mir eine eigne Ansicht zu bilden und glaube Erfahrungen vorlegen zu können, welche die Annahme eines optischen Causalverhältnisses in den von mir beschriebenen Fällen nicht gestatten.

Von Recklinghausen bemerkt, dass man sich von der allgemeinen Möglichkeit seiner Hypothese dadurch überzeugen könne, dass sich die von ihm beobachteten Verschiebungen des Kreuzes durch gewisse Combinationen von Prismen oder Linsen objectiv zur Anschauung bringen lassen. Dieser Andeutung folgend, habe ich zwei schwache Convexlinsen so vor einander aufgestellt, dass ihre optischen Axen zusammenfallen. Gerade vor den Linsen befindet sich, in passender Entfernung, ein rechtwinkliges aufrecht stehendes Kreuz, hinter denselben, in der Focalweite, ein mit sehr

---

*) Poggendorf's Annalen B. CX im Auszuge aus dem Archiv für Ophthalmol. B. V. S. 127.

**) Helmholtz, Ueber die Accommodation des Auges. Archiv für Ophth. B. I. Abth. 2. S. 57 etc.

feinem Papiere bespannter Rahmen, auf welchem das Bild des Kreuzes sich darstellt.

Die vordere der beiden Linsen ist um eine horizontale Axe drehbar, und wiederum werden die Enden dieser Axe von einem Ringe getragen, welcher in einem kreisförmigen Falze eingelassen ist, und welcher in Folge dessen um die gemeinsame optische Axe beider Linsen gedreht werden kann. Gesetzt ich hätte die vordere Linse 45° um ihre horizontale Axe gedreht, so würden sich die optischen Axen der Linsen in einer senkrechten Ebene, unter 45°, schneiden. Gesetzt ferner es würde der Ring, während die vordre Linse ihre Neigung von 45° beibehielte um 90° gedreht, so würden die optischen Axen sich wiederum unter 45°, aber diesmal in der Horizontalebene, schneiden.

Werden die eben angegebenen Drehungen, zunächst der Linse und dann des Ringes, ausgeführt, so entstehen folgende optische Effecte: das Bild des rechtwinkligen und aufrechtstehenden Kreuzes erscheint unverzerrt, wenn die optischen Axen der Linsen sich in einer horizontalen oder verticalen Ebene kreuzen. Verzerrungen des Bildes kommen nur vor, wenn die optischen Axen sich in Ebenen schneiden, welche, im Vergleich zu jener horizontalen und verticalen, als schiefe bezeichnet werden können. Nennen wir die Ebene, in welcher die Axen der beiden Linsen sich schneiden, der Kürze wegen die Axenebene, so beginnt also die Verzerrung des optischen Bildes mit dem Momente, wo die Axenebene ihre senkrechte Stellung verlässt und eine Neigung gegen die Horizontale beginnt. Die Verzerrung wächst dann, während diese Neigung zunimmt, bis zu einem gewissen Punkte, nimmt aber nachmals wieder ab, und verschwindet mit dem Eintreten der Axenebene in die Horizontale vollständig, um dem ursprünglichen, regelrechten Bilde Platz zu machen. Es versteht sich von selbst, dass das Maximum der in Rede stehenden Verzerrung eintritt, wenn die Axenebene im Uebergange aus der senkrechten in die wagerechte Stellung den halben Weg zurückgelegt, d. h. eine Drehung um 45° ausgeführt hat.

Wenn nun Helmholtz erwiesen hat, dass das menschliche Auge kein vollkommen centrirtes optisches Werkzeug ist, so muss das Netzhautbild eines fixirten rechtwinkligen Kreuzes, bei gewissen Stellungen des letzteren verzerrt, bei andern nicht verzerrt

sein.*) Nehmen wir an, das in seinem Mittelpunkte fixi
erscheine bei einer gewissen Stellung des Auges gena
winklig, und nehmen wir weiter an die Stellung dieses
werde durch eine Rotation desselben um die optische A
dert, so ist nach dem Vorausgehenden unzweifelhaft, dass
eine Drehung um 45° das Maximum seiner möglichen V
erhalte. Man wird allgemein behaupten dürfen: Wenn m
Linie fixirt, und diese um die optische Axe d
müssen die auf der Asymmetrie des Auges beru
Verzerrungen der Linie in Perioden von 90°
abnehmen.

Man sieht leicht, dass diese Anforderung in den Vers
den Drehscheiben nicht unberücksichtigt bleiben könne.
meter und Radien drehen sich um den fixirten Punkt, u
also die durch die Kreuzungswinkel gemessenen Lagenver
gen in Perioden von 90° zu- und abnehmen, was gleichw
der Fall ist. Zwar fanden wir das Zunehmen und Abne
Kreuzungswinkel auch an feste Perioden gebunden, aber
den von 180° statt 90°.

Zwei so verschiedene Vorgänge können nicht Folgen
desselben optischen Gesetzes sein, und ich glaube daher a
zu müssen, dass die von mir constatirte Differenz zwis
scheinbaren und wirklichen Lage der Linien, welche in d
zungswinkeln ihr Maass findet, nicht auf einer mangelhaf
trirung des Auges, sondern darauf beruhe, dass die Tr
linien mit den correspondirenden Meridianen nicht zu
fallen.

In dieser Ansicht bestärken mich noch andere Erfa
Den Fall gesetzt, die mit Hülfe der Drehscheiben ermittelt

zu den Sehaxen standen, unter den verschiedensten Meridianen gemessen und nachgewiesen, dass sie an der obersten Grenze mehr nicht als 2,12° betragen. Ich werde aber später zeigen, dass bei derselben Lage der Scheiben zur Sehaxe, gewisse Blickrichtungen Kreuzungswinkel von 10° und mehr zur Folge haben. Dies dürfte nach der optischen Hypothese nicht vorkommen, da Fehler der Centrirung des Auges, welcher Art sie auch sein mögen, natürlich nicht variabel sein können. Die physiologische Hypothese dagegen erklärt das Ueberschreiten der für die Normalstellung constatirten Grenzwerthe der Kreuzungswinkel aus dem Vorkommen der Axendrehung ohne Schwierigkeit.

Das mit dem monocularen Sehen verbundene Verkennen der Linienrichtung hat etwas Ueberraschendes, aber nichts für die von mir vertretene Ansicht Störendes. Natürlich lässt sich die Thatsache, dass wir eine Verticale mit einem Auge als schiefliegend erblicken, nicht daraus allein erklären, dass das Netzhautbild dieser Verticalen von der senkrechten Trennungslinie abweiche, deren Richtung, im Widerspruche mit dem Prädicate senkrecht, eine schiefe ist. Ein von Geburt Einäugiger würde die Verticale auf keinen Fall für schief erklären, denn unmöglich kann er ein Linienbild schief finden, an welchem er, was vertical sei und heisse, allein kennen lernte. Andrerseits wird gerade hieraus verständlich, warum der Zweiäugige, welcher das was senkrecht ist an binocularen Anschauungen lernte, die Senkrechte verkennt, wenn sie ausnahmsweise nur auf einer Netzhaut zur Darstellung kommt. Im Zweiäugigen fällt das Bild der Senkrechten auf die beiden senkrechten Meridiane, welche ihrer Natur nach different sind und Doppelbilder bedingen.*) Indess erscheinen die unter einem überaus kleinen Winkel sich schneidenden Linien in der Regel verschmolzen, woran die Erkenntniss, dass thatsächlich nur eine einfache Linie vorliege, gewiss wesentlichen Antheil hat. Man könnte sagen, die Seele halte sich an die Resultante, nicht an die Componenten. Sobald aber das eine Auge geschlossen wird, und die eine der beiden Componenten ausschliesslich wirkt, wird die in

---

*) Bekanntlich sehen sehr scharfe Augen eine feine Verticallinie wirklich im gekreuzten Doppelbilde.

einseitiger Weise bedingte Raumanschauung von der binocular erregten unterschieden werden müssen.

Ich will schliesslich noch bemerken, dass selbst wenn in der eben erörterten Streitfrage die Hypothese von Recklinghausen's angenommen werden sollte, die von mir gesammelten Erfahrungen in der physiologischen Optik nicht unberücksichtigt bleiben dürften. Zwar wäre Alles, was ich von dem Verhältnisse der Trennungslinien zu den correspondenten Meridianen zu erweisen gesucht habe, haltlos, wenn die Kreuzungswinkel, auf welche ich mich stütze, in einer fehlerhaften Centrirung des Auges ihre Erklärung fänden, dagegen ist es für die so wichtige Horopterfrage durchaus gleichgültig, ob wir eine fixirte Linie deshalb doppelt sehn, weil schlecht centrirte Sehwerkzeuge fehlerhaft, nämlich räumlich unvereinbare Bilder bedingen, oder: weil die richtig formirten Bilder, in Folge einer eigenthümlichen Anordnung der Nervenelemente, auf differente Punkte zu liegen kommen. Genug dass durch Versuche erwiesen worden, welche Punkte im Raume nothwendig doppelt, und welche eben so nothwendig einfach erscheinen müssen.

§ 94. Mit Hülfe der Drehscheiben sind die Gradzahlen derjenigen Meridiane bestimmt worden, welche im Zustande der Erregung sich deckende Linienbilder d. h. die Wahrnehmung einer einfachen Linie bedingen. Für die Begründung der Identitätslehre ist dieser Nachweis von Wichtigkeit aber nicht ausreichend. Es fragt sich weiter: Wie liegen in den Decklinien die Deckpunkte?

Um diese Frage für die horizontalen Trennungslinien zu lösen, bediene ich mich eines Apparates, dessen wesentliche Einrichtung durch die nachstehende schematische Figur erläutert wird.

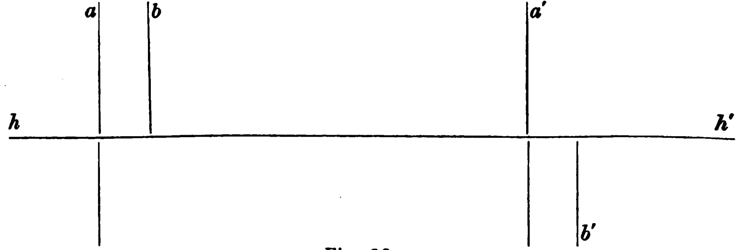


Fig. 23.

Die Horizontale $h\ h'$ wird von zwei Senkrechten $a\ a'$ geschnitten, deren gegenseitige Entfernung der Distanz der parallelen Augenaxen entsprechen muss. Zur Rechten dieser beiden grösseren Senkrechten liegt jederseits eine kleinere mit b und b' bezeichnete, welche die Horizontale nur berührt, die eine mit ihrem unteren, die andere mit ihrem oberen Endpunkte. Der gegenseitige Abstand der Parallelen a, b beträgt constant $5{,}2^{mm}$. Dagegen ist der Abstand $a'\ b'$ von vorn herein nicht bestimmt, indem b' eine bewegliche Linie ist, welche, ohne Beeinträchtigung ihres Parallelismus mit a', verschoben werden kann und deren definitive Stellung in der Hand des Beobachters liegt. Die Aufgabe für diesen besteht darin, bei directer Betrachtung der grossen Senkrechten, die bewegliche Linie so zu stellen, dass der obere Punkt von b' mit dem unteren Punkte von b zusammenfalle. Die Versuche ergeben dann den Abstand zweier, in der Horizontalebene gelegenen Deckpunkte vom gelben Flecke, und man darf sich in so fern ziemlich genaue Resultate versprechen, als bei der Anlage des Instrumentes auf die Vermeidung einer störenden Verschmelzung von b und b' ausdrücklich Rücksicht genommen ist.

Ich bemerke noch, dass die Abstände der Parallelen mit Hülfe eines Glasmikrometers gemessen wurden, welcher halbe Millimeter direct abzulesen und $\frac{1}{20}^{mm}$ mit der Lupe zu schätzen gestattete.

Versuch 129.

Die bewegliche Verticale liegt **rechts**. Für $a\ b = 5{,}2^{mm}$ im linken Auge ergab sich $a'\ b'$ im rechten Auge =

5,25	5,05	4,75	5,35	5,00	5,30	5,05	5,25	5,20	5,50
5,55	5,50	5,30	5,55	5,25	5,05	5,40	5,55	5,15	5,05
5,35	5,05	5,25	5,15	5,10	5,05	5,25	5,50	5,00	5,30

im Mittel $5{,}24^{mm}$. Die beiden im Vergleich zu stellenden Abstände ergeben einen Grössenunterschied von $0{,}04^{mm}$.

Versuch 130.

Der Apparat wird umgekehrt, so dass die bewegliche Linie auf die linke Seite zu liegen kommt. Ich bilde für $5{,}2^{mm}$, welche gegeben sind, folgende Werthe:

5,00	5,35	5,00	5,40	5,25	5,35	5,20	5,25	5,05	5,25
5,20	5,25	5,20	5,55	5,45	5,20	5,20	5,00	5,50	4,85
5,00	5,20	5,10	5,05	5,30	5,25	5,20	5,25	5,30	5,20

im Mittel 5,21^{mm}. Der Unterschied der Abstände beschränkt sich auf 0,01^{mm}.

So kleine Differenzen können nicht in Betracht kommen. Nimmt man das Mittel aus beiden Versuchsreihen, so beträgt der Unterschied auf Grundlage von 60 Beobachtungen 0,025^{mm}. Nun war aber die Sehweite in meinen Versuchen ungefähr 300^{mm} und berechnet sich daher die Grösse des Unterschiedes auf der Netzhaut zu 0,0012^{mm}, eine Grösse, welche an der äussersten Grenze des Erkennbaren liegt.

Zum Aufsuchen der Deckpunkte in den verticalen Trennungslinien, bediente ich mich eines Apparates, welcher dem vorigen höchst ähnlich ist.

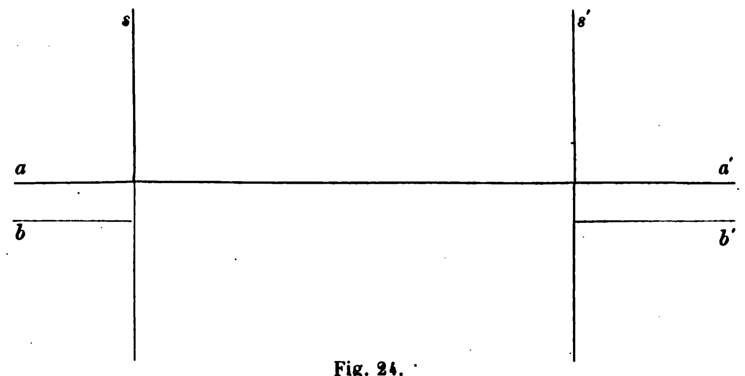


Fig. 24.

Zwei Senkrechte s s' haben eine gegenseitige Entfernung, welche der meiner Augenmittelpunkte gleichkommt, und werden von einer Horizontalen a a' geschnitten. Unterhalb der letzteren finden sich noch zwei Horizontale b b', welche die Senkrechten nur berühren, nicht schneiden. Die Linie b' ist wieder beweglich, d. h. sie kann, ohne Beeinträchtigung des Parallelismus, der Linie a a' beliebig genähert, respective von ihr entfernt werden, während die Distanz a b unveränderlich bleibt, und für alle Versuche den Werth 5,5^{mm} behält. Der Beobachter fixirt den Kreuzungspunkt der grossen Horizontalen mit den Senkrechten und sucht das rechte Ende von b mit dem linken Ende von b' in Berührung zu bringen, d. h. er sucht zwei unterhalb der gelben Flecke gelegene Deckpunkte.

Versuch 131.

Die bewegliche Horizontale wird dem rechten Auge geboten. e gesuchte Distanz hat folgende Werthe:

5,35	5,50	5,50	5,30	5,20	5,55	5,50	5,90	5,35	5,65
5,65	6,00	5,30	5,60	5,05	5,65	5,90	5,35	5,35	5,45
5,90	5,85	5,10	5,60	5,35	5,80	5,50	5,00	5,55	5,50

ı Mittel von 30 Beobachtungen $5{,}51^{mm}$. Der Abstand der beiden entischen Punkte vom gelben Flecke darf als gleich gelten, da n Unterschied von $0{,}01^{mm}$ auf 300^{mm} Sehweite kein erkennarer ist.

Versuch 132.

Der Apparat wird umgekehrt, so dass die bewegliche Horizontale b' sich vor dem linken Auge befindet. Die gesuchten Abstände sind:

5,35	5,75	5,60	5,45	5,75	5,50	5,00	5,45	5,50	5,50
5,85	5,70	5,50	5,20	5,50	5,50	5,50	5,45	5,25	5,45
5,20	5,35	5,10	5,25	5,35	5,35	5,50	5,50	5,50	5,30

im Mittel $5{,}47^{mm}$.

Der gesuchte Abstand ist um $0{,}03^{mm}$ kleiner als der gegebene. Im Mittel beider Versuchsreihen differiren die Abstände im linken und rechten Auge um $0{,}02^{mm}$. Berechnet man die Grösse dieses Unterschiedes für die Netzhautbilder, so erhält man einen Werth, welcher der kleinsten für mein Auge erkennbaren Distanz bei weitem nicht gleichkommt.

Durch vorstehende Versuche hat eine oft aufgestellte und nie erwiesene Behauptung der Identitätslehre eine exacte Unterlage bekommen. Schon Johannes Müller lehrte: Identisch sind solche Netzhautpunkte, welche in correspondenten Richtungen gleichweit vom gelben Flecke entfernt liegen. Die 4 letzten Versuchsreihen beweisen, dass dieser Ausdruck mit den aus je 30 Beobachtungen entnommenen mittleren Entfernungen zweier Deckpunkte von der Netzhautmitte vortrefflich übereinstimmt.

§ 95. Während meine Versuche über das Lagerungsverhältniss der identischen Punkte zum gelben Flecke die jetzt herrschenden Ansichten bestätigen, stehen die Versuche, welche ich über das Verhältniss der Trennungslinien zu den correspondenten Meridianen angestellt habe, mit denen aller meiner Vorgänger im Widerspruche. Denn während meine Erfahrungen auf eine Kreuzung

der vorgenannten Liniensysteme hinweisen, wird von den Anhängern der Identitätslehre allgemein angenommen, dass die Trennungslinien und die correspondenten Meridiane zusammenfallen.*) Diese Uebereinstimmung vieler und angesehener Forscher erfordert eine Berücksichtigung der Gründe, auf welche sie sich stützen.

Johannes Müller hat die Behauptung, dass die identischen Punkte unter gleichen Meridianen und Polarkreisen liegen, in der Hauptsache auf solche allgemeine Betrachtungen begründet, wie sie in § 87 vorgelegt wurden. Er legte besonderes Gewicht auf die Raumverhältnisse der Doppelbilder, und die Druckversuche dienten dem errichteten Gebäude zum Schlusssteine. Versuche, welche zu Maasszahlen führten hat Müller überhaupt nicht angestellt, und können daher seine Angaben über die Raumverhältnisse der in Frage stehenden Liniensysteme nur als ungefähre gelten.

Prevost **) und Burckhardt ***) demonstrirten den Ort des Horopters geometrisch, indem sie die Richtigkeit der Müller'schen Lehre voraussetzten, und machten dann einige Versuche, welche zunächst ihre Horopterbestimmungen, und in Folge dessen das Identitätsgesetz selbst, von dem sie ausgegangen waren, bestätigen sollten. Das Princip der Versuche bestand darin, kleine Objecte, z. B. die Köpfe von Stecknadeln, in den Ort der construirten Horopterlinie zu bringen und zu untersuchen, ob sie innerhalb dieser Linie einfach, dagegen ausserhalb derselben doppelt gesehn würden, indem dieses wie jenes der Theorie nach beansprucht werden musste. Alle derartige Versuche, welche unter

*) Vorstehendes war niedergeschrieben als mir B. II. Abth. 2 des Archivs für Ophthalmologie zukam, welcher eine Abhandlung von Helmholtz über die Bewegungen des menschlichen Auges enthält. Zu meinem grossen Genugthuung sehe ich, dass die Erfahrungen des grossen Physikers mit den meinigen übereinstimmen und das Auseinanderfallen der Trennungslinien und correspondenten Meridiane ebenfalls nachweisen. Anscheinend haben Helmholtz und ich den fraglichen Gegenstand gleichzeitig bearbeitet. Meine erste Veröffentlichung über denselben findet sich in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie vom 13. Aug. 1863. Ob Helmholtz die Perioden der Zunahme und Abnahme der Kreuzungswinkel wahrgenommen habe, ist aus seiner sehr kurz gehaltenen Darstellung nicht ersichtlich.

**) Essai sur la théorie de la vision binoculaire Bull. univ. 1843.

***) Ueber Binocularsehen. Verhandlungen der Naturf. Gesellschaft zu Basel 1853.

mannichfaltigen Modificationen von verschiedenen Physiologen angestellt worden, sind deshalb ungenau, weil sie der Neigung räumlich differente Empfindungen zu verschmelzen keinen Widerstand bieten.

Das Einfachsehn mit zwei Augen ist für die Identitätslehre natürlich bedeutungslos, wenn es eine Folge andrer Bedingungen als der Identität der fungirenden Netzhautelemente ist, und Versuche, wie die eben angeführten, schliessen diese anderen Bedingungen nicht aus. Erst Meissner hat eine Methode erdacht, welche, durch Vermeidung der Wheatstone'schen Verschmelzung, eine exacte Bestimmung der identischen Punkte ermöglicht, und sind daher meine Versuche, welche mit Hülfe dieser verfeinerten Methode angestellt sind, durch entgegenstehende Experimente, welche dieses Vortheils entbehren, in keiner Weise gefährdet.

Freilich stehen mehrere meiner Angaben auch mit denen Meissner's in Widerspruch und bedürfen, wo dies stattfindet, einer besonderen Rechtfertigung. Meissner behauptet, dass der Winkel, unter welchem die Doppelbilder einer Senkrechten sich schneiden, mit zunehmender Sehweite an Grösse abnehme und beim Blick in die unendliche Ferne gleich Null werde. Hiernach müssten bei horizontalen und parallelen Sehaxen die verticalen Trennungslinien mit den verticalen Meridianen zusammenfallen, während sie nach meinen Versuchen sich unter einem Winkel von 2,15° kreuzen. Die Differenz unsrer beiderseitigen Angaben kann nur darauf beruhn, dass Meissner Versuche mit parallelen Augenaxen nie angestellt hat, auch mit seinem ziemlich mangelhaften Instrumente nicht anstellen konnte. Das Maximum der Sehweite, bei welchem er operirte, beschränkt sich auf 58 Centimeter, und beruht also die Angabe darüber, was bei unbegrenzter Sehweite erfolge, nur auf Schlüssen, welche sich nach meinen zahlreichen directen Versuchen als irrig erweisen.*) Die Besprechung einiger anderen Differenzen zwischen Meissner und mir gehört nicht hierher und mag einem späteren Abschnitte, welcher die Axendrehung des Auges behandelt, vorbehalten bleiben.

Unter den nun folgenden Schriftstellern haben einige Meissner hart angegriffen, besonders Claparède, welcher, in leidenschaft-

---

*) Man vergleiche die Anmerkung zu Versuch 120.

licher Opposition gegen einige Irrthümer der MEISSNER'schen Arbeit, die grossen Verdienste derselben durchaus verkannt hat.*) CLAPARÈDE tritt als Vertheidiger der Horopterlehre von PREVOST und BURCKHARDT auf, welche nach den oben vorgelegten Versuchen nur als eine angenähert richtige betrachtet werden kann, und verwirft Beobachtungen MEISSNER's, welche durch die meinigen in unzweifelhafter Weise bestätigt werden. Untersucht man seine, wesentlich theoretische Arbeit genauer, so vermisst man einen festen empirischen Boden, denn die wenigen Thatsachen, die vorgelegt werden, beruhen sämmtlich auf Versuchen, denen die von MEISSNER so glücklich vermiedenen Fehler des Experimentalverfahrens noch anhaften.

Auch HERING hat seine Uebereinstimmung mit PREVOST entschieden ausgesprochen, und vertheidigt, was die Lage der identischen Linien und Punkte anlangt, die Grundsätze MÜLLER's. Als Beweis für diese Ansicht wird zunächst die Erfahrung benutzt, dass wir bei Betrachtung des gestirnten Himmels nicht blos den fixirten Stern sondern auch dessen Nachbarn, die seitlich gelegene Mondsichel u. s. w. einfach sehn. Indem HERING die Unzulänglichkeit derartiger Beobachtungen nicht verkannte, stellte er einen sehr interessanten Gegenversuch an, welcher, seiner Meinung nach, Alles, was die Betrachtung des Himmels bereits angedeutet hatte, bestätigt. Der Versuch ist folgender:

Versuch 133.

Man lege um zwei Punkte, deren gegenseitige Entfernung der Distanz der Augenmittelpunkte gleichkommt, Halbkreise, den einen nach links, den andern nach rechts gerichtet, dann sieht man, wenn die gedachten Punkte in die Augenaxen zu liegen kommen eine vollständige Kreislinie.

Ferner ziehe man von dem einen Fixirpunkte eine Gerade in beliebiger radialer Richtung, und von dem andern Fixirpunkte eine zweite Gerade in genau entgegengesetzter, also mit der Ersteren paralleler Richtung, und man wird stets eine continuirliche durch den einfach erscheinenden Fixirpunkt hindurchgehende Gerade sehn.

---

*) Beiträge zur Kenntniss des Horopters. Archiv für Anat. u. Physiol. von REICHERT und DU BOIS-REYMOND 1859 S. 384.

Dieser Versuch ist methodisch untadelhaft, und würde das von mir geläugnete Zusammenfallen der identischen und correspondenten Netzhautlinien beweisen, wenn er sich bewährte. In-



Fig. 25.

dess bewährt er sich eben nicht, wie nach meinen ganz analogen Radienversuchen (Nr. 119 und folgende) im voraus erwartet werden musste.

Ich will erstens bemerken, dass ich in der von Hering gezeichneten Figur 67 (S. 177) sehr deutlich erkenne, dass die beiden Radien nicht eine continuirliche Gerade, sondern einen nach links offenen Winkel bilden. Dies deutet auf Divergenz der Trennungslinien nach oben, wie sie das von mir ermittelte Gesetz beansprucht. Dies könnte nun zwar die Folge davon sein, dass in der abgedruckten Figur die, als Parallele eingeführten, Linien ein wenig nach oben auseinander wichen, aber ebenso möglich ist, dass in der von Hering benutzten Figur ein strenger Parallelismus nicht statt fand, und dass gerade dadurch, dass er nicht statt fand, das Bild der continuirlichen Geraden bedingt wurde. In meinen, mit mathematischen Instrumenten ausgeführten Versuchen, können derartige Zweifel nicht aufkommen.

Um zu beweisen, dass Hering's Angabe über das Verschmelzen der beiden Radien, zu einer continuirlichen Geraden, auf einem Irrthume beruhe, ist es ausreichend auf Versuch 119 zu verweisen. Dieser Versuch ist das Gegenstück zu dem von Hering angestellten, nur einfacher und überzeugender. Wenn man den Mittelpunkt einer einfachen geraden Linie fixirt und dem einen

Auge die obere dem anderen die untere Hälfte derselben wegblendet, so repräsentiren die beiden, nur von je einem Auge gesehenen Hälften, die sich diametral gegenüberstehenden Radien Hering's in aller Strenge. Diese Hälften verbinden sich aber nie zu einer continuirlichen Geraden, sondern stets zu einer gebrochenen Linie.

Mit Bezug auf Hering's Worte: man ziehe von den Fixirpunkten aus Gerade in beliebiger radialer Richtung, will ich noch bemerken, dass die Richtung für den Ausfall des Versuches nicht ganz gleichgültig ist. Da nämlich die Abweichung der Trennungslinien von den correspondenten Meridianen, je nach der Gradzahl der letztern, beträchtlich schwankt, so muss man in Versuchen, welche ohne Zuziehung mathematischer Instrumente ausgeführt werden, den Radien eine Lage geben, bei welcher jene Abweichungen am auffälligsten sind. Ich lege im Nachstehenden eine Figur vor, welche nach Hering's Vorschrift construirt ist, und welche für jedes scharfe Auge sofort den Beweis liefert, dass die beiden Halbkreise nicht den Anblick einer vollständig geschlossenen Kreislinie und die als Stellvertreter der Radien von beliebiger Richtung angebrachten Senkrechten nicht den Eindruck einer geraden continuirlichen Linie machen.

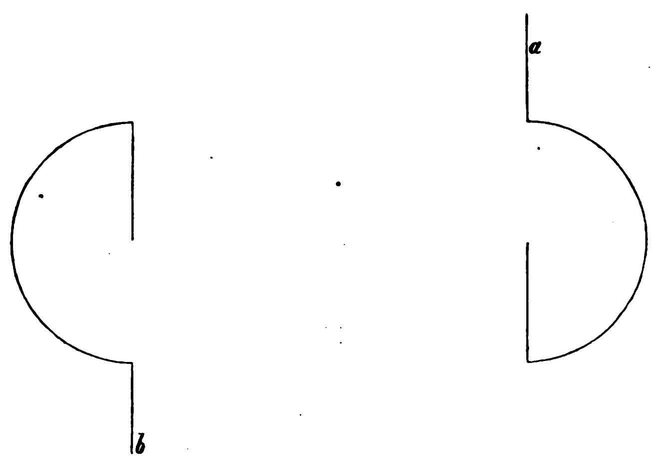


Fig. 26.

Die beiden Radien und die Hülfslinien *a* und *b*, welche sämmtlich parallel und senkrecht liegen, bilden keine gerade, sondern eine gebrochene Linie, indem die Senkrechte der linken Seite

eine merkliche Neigung nach rechts, die Senkrechte der rechten Seite dagegen eine Neigung nach links zeigt. Ferner ist der Kreis nach unten nicht geschlossen, sondern lässt eine Linke erkennen, während die obern Enden der Kreishälften sich überschneiden, was zur Folge hat, dass die kleinen sich deckenden Abschnitte die Peripherie stärker geschwärzt auftreten. Das Sammelbild erscheint also wie die nachstehende Figur, und bestätigt in dieser Form meine Angaben über die Lage der Trennungslinien vollständig.

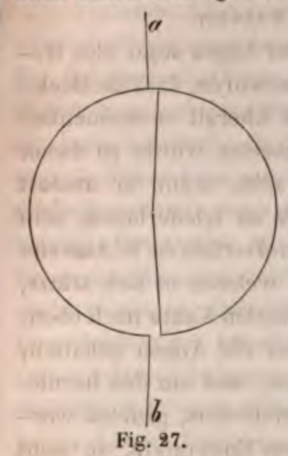


Fig. 27.

§ 96. Nachdem ich nun das Ergebniss meiner Versuche nach allen Seiten hin sicher gestellt zu haben glaube, lässt sich fragen, zu welchen Folgerungen das Gefundene berechtige? Ich will mit der Anführung des Wichtigsten den Anfang machen: wenn die Augen die Normalstellung einnehmen, ist der Horopter ein Punkt. Diese Angabe widerspricht allen bisher gegebenen Horopterbestimmungen, wird aber mit Rücksicht auf die vorgelegten Thatsachen die allein haltbare sein. Da nämlich die Erregung zweier correspondenten Meridiane gesetzlicher Weise ein Bild zweier sich kreuzender Linien bedingt, so ist einleuchtend, dass je zwei correspondente Meridiane nie mehr als zwei identische Punkte enthalten, welche unverkennbar in der Mitte der gelben Flecke liegen.

Johannes Müller bestimmte den Horopter als einen Kreis, welcher durch den fixirten Punkt und die beiden Mittelpunkte der Krystalllinsen zu ziehen sei. Ich verbesserte in einer früheren Arbeit die Ungenauigkeit dieses Ausdrucks nur unvollständig dadurch, dass ich den Mittelpunkten der Linsen die Kreuzungspunkte der Richtungslinien substituirte, denn auch mit dieser Modification entspricht der Müller'sche Horopterkreis noch nicht genau der Erfahrung. Mit Rücksicht auf die Normalstellung der Augen wäre der Ausdruck nur dann präcis, wenn die im linken und rechten Sehfelde gelegenen Wagerechten, deren Bilder in die horizontalen Meridiane fallen, als eine einfache, horizontale Linie erschienen, was nicht genau so der Fall ist. Vielmehr kreuzen sich die beiden

Linien, wenn auch unter einem äusserst kleinen Winkel, und beweisen hiermit, dass in der horizontalen Visirebene nur ein Punkt den Horopter abgebe. Noch weniger haltbar ist, aus analogen Gründen die senkrechte Horopterlinie von PREVOST.

MEISSNER hat für die Normalstellung der Augen sogar eine Horopterfläche angenommen, was voraussetzen würde, dass die Decklinien und die correspondenten Meridiane überall zusammenfielen, während sie überall sich kreuzen. MEISSNER würde zu dieser unrichtigen Vorstellung nicht gekommen sein, wenn er anstatt einen sehr mangelhaften Versuch von BAUM zu wiederholen, sein eignes ungleich vollkommneres Experimentalverfahren in Anwendung genommen hätte. Der Versuch, auf welchen er sich stützt, ist folgender. Ein Lineal wird, mit der schmalen Kante nach oben, in die Medianebene gebracht und nahe vor die Augen gehalten, so etwa, dass es an die Nasenspitze anstösst, und um den Berührungspunkt mit dieser, wie ein beweglicher Radius, gedreht werden kann. Fixirt man das Lineal in seinem Endpunkte, so sieht man zwei convergirende Doppelbilder, welche im Fixirpunkte zusammenstossen. Wird nun das Lineal zur Seite gedreht und der ursprüngliche Fixirpunkt festgehalten, so sollen die Doppelbilder zwar nach wie vor convergiren, aber nicht mehr im Endpunkte des Lineals zusammenstossen, sondern einen Spalt zwischen sich lassen. Wäre dies richtig, so läge der Endpunkt des Lineals noch vor dem Horopter, obschon der Kreis, welchen das Lineal als beweglicher Radius beschreibt, natürlich abseits des MÜLLER'schen Horopters zu liegen käme. Aber der Versuch, den ich wiederholt geprüft, hat mich nicht überzeugt, vielmehr führte eine kleine und sicherlich zweckmässige Modification desselben zu Resultaten, welche den von MEISSNER gewonnenen direct widersprachen. Statt des Lineals benutzte ich einen fein polirten Stahldraht. Dieser wurde im reflectirten Glanzlichte einer Lampe betrachtet, welche beiden Augen durch einen Schirm verborgen wurde. Vor meinen Augen war ein Loth aufgehangen, an welches das entfernte und fixirte Ende des Drahtes anstiess, und welches, wenn letzterer zur Seite gedreht wurde, den constanten Fixirpunkt abgab. Auf diese Weise war nicht nur für die Deutlichkeit der Doppelbilder, sondern auch für das Festhalten des Fixirpunktes, beides Grundbedingungen für einen sichern Erfolg des Versuches, nach Mög-

lichkeit gesorgt. Wurde nun der Draht zur Seite gedreht, so war die Kreuzung der Doppelbilder für Dr. Schweigger-Seidel und mich unzweifelhaft.

Vielleicht wird man bedenklich finden, dass ich die Grundsätze der Identitätslehre vertheidige und gleichzeitig den Horopter für die Normalstellung der Augen auf einen Punkt beschränke. Wenn man auf dem Rücken liegend den gestirnten Himmel betrachtet, befinden sich die Augen in der Normalstellung, und wenn man in dieser Lage einen Stern fixirt, erscheint nicht blos dieser einfach, sondern auch jeder andere. Ist nun der Horopter unter solchen Umständen ein Punkt, so ist das Einfachsehn der nicht fixirten Sterne von der Erregung identischer Netzhautpunkte eben nicht abhängig. Diese Folgerung ist unumstösslich, aber mit den Grundsätzen der Identitätslehre sehr wohl vereinbar. Denn obschon letztere behauptet, dass das Doppeltsehn in der Natur der differenten Punkte organisch begründet sei, so läugnet sie doch nicht, dass es Bedingungen gebe, welche die von den differenten Netzhautpunkten postulirte Duplicität der Erscheinung unmöglich machen und die an sich unzulässige Einheit, gleichsam durch eine Hinterthür, herbeiführen. Solche zufällige Erfolge sollte man bei Beurtheilung des Identitätsprincips nicht mit den Functionen der reinen Sinnlichkeit zusammenwerfen, wie ich bei Besprechung der Doppelbilder und der stereoskopischen Erscheinungen ausführlicher erörtern werde.

§ 97. Mit dem Nachweise eines bestimmten Horopters, welcher für die Normalstellung des Auges sich als Punkt ergeben hat, gewinnt die Identitätshypothese ausserordentlich an Wahrscheinlichkeit. Das Einfachsehen dieses einzigen Punktes lässt sich nicht füglich als etwas Erlerntes und das Doppeltsehen aller anderen Punkte eben so wenig als die Folge der gesonderten Empfindung des doppelt vorhandenen Sehorgans auffassen. Wäre es die Erfahrung, welche uns über die reale Einheit des fixirten und primitiv doppelt gesehenen Punktes belehrt hätte, so würde sie uns auch einfache Empfindungen bei Betrachtung unzweifelhaft einfacher Linien aufgedrungen haben, und wäre das Doppeltsehen von Punkten, welche ausserhalb der Kreuzung der Sehlinien liegen, lediglich Folge der discreten Empfindungen des einen und des anderen Auges, so müsste eine Linie auch dann im gekreuzten

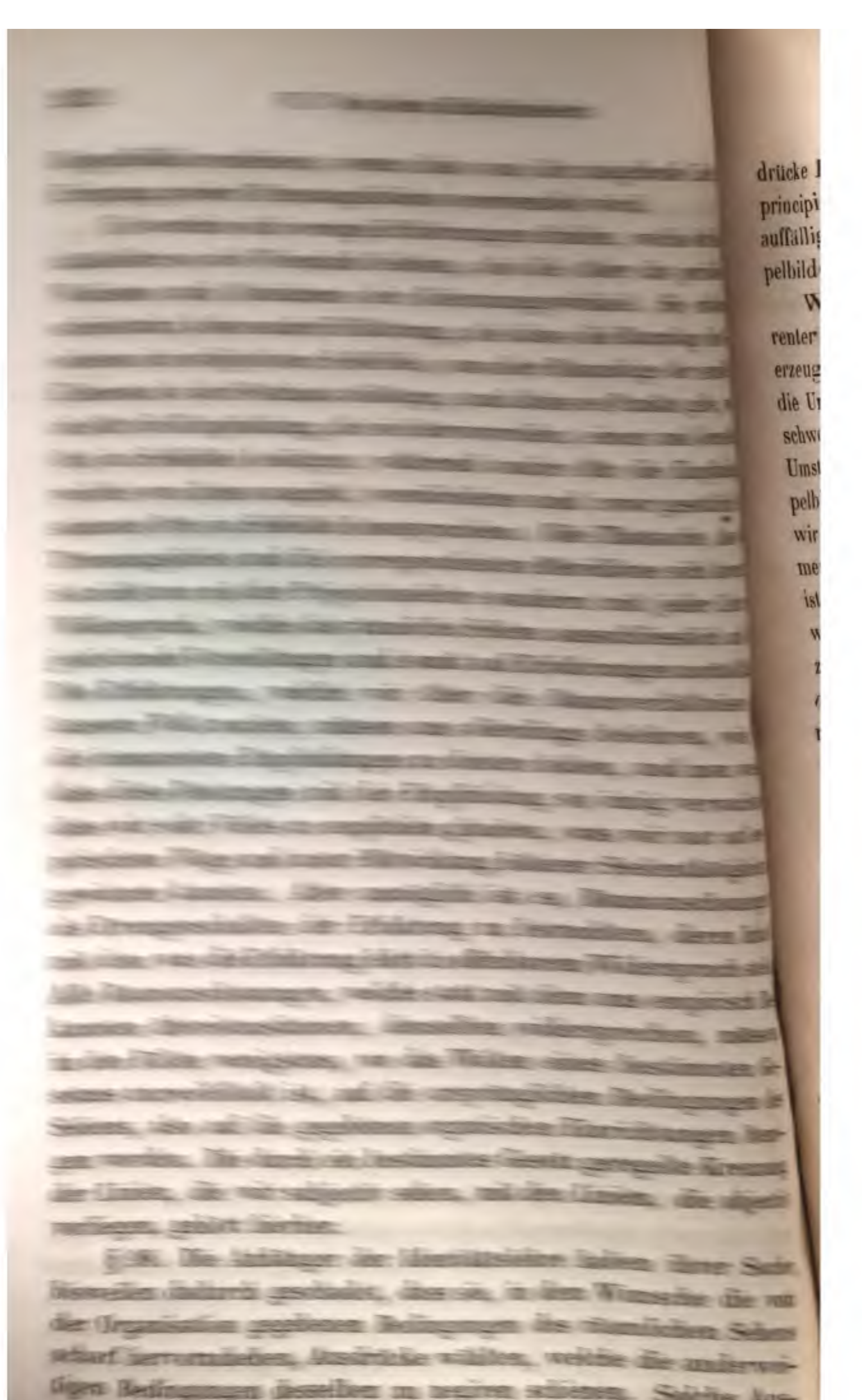
Linien, wenn auch unter einem äusserst kleinen Winkel, weisen hiermit, dass in der horizontalen Visirebene nur e den Horopter abgebe. Noch weniger haltbar ist, aus Gründen die senkrechte Horopterlinie von Prevost.

Meissner hat für die Normalstellung der Augen sogar ropterfläche angenommen, was voraussetzen würde, dass d linien und die correspondirenden Meridiane überall zusam len, während sie überall sich kreuzen. Meissner würde unrichtigen Vorstellung nicht gekommen sein, wenn er einen sehr mangelhaften Versuch von Baer zu wiederhol eignes ungleich vollkommneres Experimentalverfahren in dung genommen hätte. Der Versuch, auf welchen er sic ist folgender. Ein Lineal wird, mit der schmalen Kante na in die Medianebene gebracht und nahe vor die Augen so etwa, dass es an die Nasenspitze anstösst, und um den rungspunkt mit dieser, wie ein beweglicher Radius, gedr den kann. Fixirt man das Lineal in seinem Endpunkte, man zwei convergirende Doppelbilder, welche im Fixirpu sammenstossen. Wird nun das Lineal zur Seite gedreht ursprüngliche Fixirpunkt festgehalten, so sollen die Dop zwar nach wie vor convergiren, aber nicht mehr im En des Lineals zusammenstossen, sondern einen Spalt zwisc lassen. Wäre dies richtig, so läge der Endpunkt des Line vor dem Horopter, obschon der Kreis, welchen das Linea weglicher Radius beschreibt, natürlich abseits des Müll Horopters zu liegen käme. Aber der Versuch, den ich wi geprüft, hat mich nicht überzeugt, vielmehr führte ein und sicherlich zweckmässige Modification desselben zu welche den von Meissner gewonnenen direct w des Lineals benutzte ich einen fein polirten

lichkeit gesorgt. Wurde nun der Draht zur Seite gedreht, so war die Kreuzung der Doppelbilder für Dr. Schweigger-Seidel und mich unzweifelhaft.

Vielleicht wird man bedenklich finden, dass ich die Grundsätze der Identitätslehre vertheidige und gleichzeitig den Horopter für die Normalstellung der Augen auf einen Punkt beschränke. Wenn man auf dem Rücken liegend den gestirnten Himmel betrachtet, befinden sich die Augen in der Normalstellung, und wenn man in dieser Lage einen Stern fixirt, erscheint nicht blos dieser einfach, sondern auch jeder andere. Ist nun der Horopter unter solchen Umständen ein Punkt, so ist das Einfachsehn der nicht fixirten Sterne von der Erregung identischer Netzhautpunkte eben nicht abhängig. Diese Folgerung ist unumstösslich, aber mit den Grundsätzen der Identitätslehre sehr wohl vereinbar. Denn obschon letztere behauptet, dass das Doppeltsehn in der Natur der differenten Punkte organisch begründet sei, so läugnet sie doch nicht, dass es Bedingungen gebe, welche die von den differenten Netzhautpunkten postulirte Duplicität der Erscheinung unmöglich machen und die an sich unzulässige Einheit, gleichsam durch eine Hinterthür, herbeiführen. Solche zufällige Erfolge sollte man bei Beurtheilung des Identitätsprincips nicht mit den Functionen der reinen Sinnlichkeit zusammenwerfen, wie ich bei Besprechung der Doppelbilder und der stereoskopischen Erscheinungen ausführlicher erörtern werde.

§ 97. Mit dem Nachweise eines bestimmten Horopters, welcher für die Normalstellung des Auges sich als Punkt ergeben hat, gewinnt die Identitätshypothese ausserordentlich an Wahrscheinlichkeit. Das Einfachsehen dieses einzigen Punktes lässt sich nicht füglich als etwas Erlerntes und das Doppeltsehen aller anderen Punkte eben so wenig als die Folge der gesonderten Empfindung des doppelt vorhandenen Seh[illegible]rgans auffassen. Wäre es die Erfahru[illegible]he uns über di[illegible]ale Einheit des fixirten und primi[illegible]sehen[illegible] belehrt hätte, so würde sie uns au[illegible]mpf[illegible]Betrachtung unzweifelhaft einf[illegible]uf[illegible]n, und wäre das Doppeltsehen [illegible]er Kreuzung der Sehlinien lie[illegible] Empfindungen des einen und [illegible] Linie auch dann im gekreuzten



ke kann man tadeln, aber nicht zum Ausgangspunkte einer cipiellen Opposition machen, wie vielfältig geschehen ist. Ein lliges Beispiel hierzu liefern die auf die Seltenheit der Doppilder gegründeten Einwürfe.

Wenn die Identitätslehre behauptet, dass die Reizung differer Netzhautpunkte zwei räumlich verschiedene Eindrücke euge, so setzt sie die Abwesenheit solcher Bedingungen, welche Unterscheidung des Doppelten verhindern, wenn auch stillweigend doch selbstverständlich voraus. Nun sind aber die nstände, unter denen wir sehen, der Wahrnehmung der Doplbilder höchst ungünstig. Immer liegen die Objecte, welche ir doppelt sehen sollten, im seitlichen Sehfelde, und fast imer in Entfernungen, auf welche das Auge nicht accommodirt t. Wenn zwei Punkte einer und derselben Netzhaut, beispielseise a und b, unfähig sind die Wahrnehmung einer Distanz u vermitteln, so werden die auf beide Augen vertheilten Punkte und b' hierzu noch unfähiger sein. Denn der Punkt b′ wird och dadurch gestört, dass sein identischer, also b, gleichzeitig activ ist, und seiner Empfindung denselben Ort im Sehfelde anweist als b'. Das Auftreten der Doppelbilder ist also immer mit einem störenden Wettstreite der Sehfelder verbunden. Bedenkt man nun, dass selbst in einem und demselben Auge die Fähigkeit Distanzen zu erkennen, abwärts vom gelben Flecke schnell abnimmt, so kann man das Ausbleiben der Doppelbilder in so vielen Fällen nicht befremdlich finden.

Zu den allgemeinen Schwierigkeiten, welche der Wahrnehmung der Doppelbilder entgegentreten, kommen in vielen Fällen noch besondere. So kann das eine Doppelbild auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fallen. Gegenstände von einiger Breite bedingen Bilder, welche sich theilweise über einander schieben, aber nicht sich vollständig trennen. Sind die Objecte, welche unter falscher Augenstellung betrachtet werden, vielfach vorhanden, wie etwa die Figuren einer gemusterten Tapete, so verlieren sich die Doppelbilder in der Masse gleichartiger und deshalb wenig auffälliger Erscheinungen.

Die Eindrücke, welche wir von den Doppelbildern erhalten, werden also durch eine Menge von Umständen abgeschwächt, indess ist nicht nothwendig, dass diese deprimirenden Einflüsse auf

beide Bilder in gleichem Maasse wirken. Im Gegentheile werden solche Fälle, wo sich die Nachtheile der Bedingungen in beiden Bildern gleichmässig geltend machen, selten vorkommen. Dies kann zur Folge haben, dass das minder beeinträchtigte Bild die Aufmerksamkeit vorzugsweise auf sich zieht, und gerade dadurch das zweite, von vorn herein ungünstiger gestellte, vollständig verdrängt. So entsteht ein unberechtigtes Einfaches.

Versuch 134.

Wenn ich, mit dem Rücken gegen das Fenster gekehrt, einen Punkt der gegenüber befindlichen Wand fixire und nahe vor dem Antlitz, aber merklich nach links, eine Stricknadel halte, so sehe ich nur ein Nadelbild, welches, wie der Versuch ergiebt, zum linken Auge gehört. Um erklärlich zu finden, dass das rechte Auge die Nadel nicht wahrnimmt, muss man bedenken, dass rechterseits das Nadelbild viel weiter vom gelben Flecke absteht, als linkerseits, und also auf Nerventheilchen trifft, welche nur einen geringen Grad von Empfindlichkeit besitzen. Es entsteht demnach im rechten Auge nur eine sehr schwache Empfindung, und diese wird durch den viel lebhafteren Eindruck des linken Auges vollständig verdrängt. Dass es sich hier wirklich um die Uebertäubung einer schwächeren Empfindung durch eine stärkere handle, ergiebt sich wenn man das linke Auge, unter Festhaltung des Fixirpunktes, schliesst, indem dann das Nadelbild des rechten Auges plötzlich, aber an einem ganz anderen Deckpunkte, zum Vorschein kommt.

Das sehr gewöhnliche Fehlen der Doppelbilder beim gewöhnlichen Sehen, ist also kein Beweis gegen die Identitätslehre, und zwar um so weniger, als es nebenbei noch von zwei ganz unberechenbaren Momenten abhängt, von mangelnder Schärfe der Augen einerseits, und von Ungeschick im Beobachten andrerseits.

§ 99. Während die vom Fehlen der Doppelbilder entlehnten Einwürfe alles Gewichtes entbehren, verdienen die von Wheatstone erhobenen Bedenken die sorgfältigste Berücksichtigung. Wheatstone hat bewiesen, dass bei stereoskopischer Betrachtung Linien zu einem einfachen Bilde verschmelzen, deren Gestalt und Richtung die Annahme, dass ihre Netzhautbilder auf identische Punkte treffen, schlechthin unmöglich macht. Die den beiden

Augen gebotenen ungleichen Figuren sollten Doppelbilder veranlassen, und die Einheit der Erscheinung lässt sich in diesen Fällen nicht dadurch erklären, dass der Empfindungsvorgang des einen Auges, obschon vorhanden, zufällig nicht zum Bewusstsein gelange. Das stereoskopische Sammelbild gleicht nämlich keinem der beiden gegebenen Bilder, sondern ist ein aus beiden hervorgegangenes Drittes, womit der unwiderlegliche Beweis gegeben ist, dass beide Augen an der vorhandenen Erscheinung Theil haben. Wheatstone folgert hieraus, die Hypothese: dass differente Punkte räumlich gesonderte Eindrücke bedingen, sei unrichtig.

Panum hat sich dieser Folgerung nicht nur angeschlossen, sondern auch den Versuch gemacht, die von dem englischen Physiker verworfene Hypothese durch eine andere zu ersetzen. Nach seiner Meinung hat jeder empfindende Punkt des einen Auges einen correspondirenden Empfindungskreis im andern Auge, der mit jenem zusammengenommen eine einheitliche Empfindung bedingt. Ausdrücklich hervorgehoben wird, dass diese einheitliche Empfindung keine psychisch vermittelte, also auch keine angelernte, sondern ein unmittelbar sinnlicher Vorgang sei. — Anlangend die Dimensionen der Empfindungskreise, so soll der Durchmesser derselben 13—34 mal grösser sein, als die kleinste erkennbare Distanz zweier schwarzen Linien auf weissem Grunde.

Schon die Grösse dieses Maasses muss Bedenken erregen, wie sich aus den unter Nr. 129—132 mitgetheilten Versuchen über die Lage der identischen Punkte ergiebt. Auf keinen Fall nämlich könnte der fragliche Diameter grösser sein, als die Differenz des Maximalwerthes und Minimalwerthes der in jenen Versuchen ermittelten Abstände eines beweglichen Netzhautbildes vom gelben Flecke, und doch sind diese Differenzen viel kleiner als Panum's Maasse.

Um das Gesagte deutlich zu machen, will ich in Fig. 28 mit $A\,a$ die *foveae centrales*, mit $B\,b$ zwei im horizontalen Meridiane gelegene correspondente Netzhautpunkte bezeichnen.

A B a b β β'

Fig. 28.

Wenn ich mit Hülfe des in Fig. 23 dargestellten Instrumentes für B des einen Auges den Deckpunkt im anderen suche, so setze ich denselben im Mittel von 30 Versuchen richtig nach b, aber ich

setze ihn in sehr vielen Fällen auch anders und zwar in extremen Fällen nach β oder β'. Es bezeichnet also $\beta\beta'$, oder was dasselbe ist der Unterschied $a\beta' - a\beta$, eine Strecke, innerhalb welcher jeder Punkt zur Hervorbringung einer einheitlichen Empfindung beim binocularen Sehen dienen **kann**.

Der Unterschied des maximalen und minimalen Abstandes $= a\beta' - a\beta$ ergab sich **in horizontaler Richtung**

nach Versuch 129 = 5,55 — 4,75 = 0,80 mm
„ „ 130 = 5,55 — 4,85 = 0,70 „

in perpendiculärer Richtung

nach Versuch 131 = 6,00 — 5,00 = 1,00 „
„ „ 132 = 5,85 — 5,00 = 0,85 „

im Mittel von 120 Versuchen = 0,84 mm.

Dieser Unterschied bedingt bei der von mir benutzten Sehweite von 300 mm ein Netzhautbild von 0,042 mm, welches um sechsmal grösser ist, als die kleinste erkennbare Distanz für mein Auge. Jedenfalls ist also die von Panum gefundene enorme Grösse des Empfindungskreises als eine Folge besonders ungünstiger Versuchsbedingungen zu betrachten.

Aber auch die von mir ermittelte Differenz des grössten und kleinsten Abstandes eines gesuchten identischen Punktes vom gelben Flecke, ist nichts weniger als ein adäquates Maass für den Diameter des Empfindungskreises, denn sie ist von zufälligen Beobachtungsfehlern abhängig, welche, mit Rücksicht auf die ungünstigen Versuchsbedingungen, nicht gering sein dürften. Man bedenke nur, dass die Messungen bei indirectem Sehen und unter fehlerhafter Accommodation ausgeführt werden. Demnach würde der Empfindungskreis nochmals um ein Ansehnliches zu verkleinern sein, und fragte sich, wieviel dann übrig bliebe.

Meine Versuche über die Lage der identischen Punkte in den Deckungslinien, gestatten übrigens noch eine zweite, für die Kritik der Empfindungskreise belangreiche Betrachtung. Um dies klar zu machen, muss ich auf das von mir angewandte Experimentalverfahren etwas näher eingehn. Man erinnre sich, dass der Ort des identischen Punktes mit Hülfe des in Fig. 23 dargestellten Apparates auf dem Wege der Ausgleichung zweier Distanzen ermittelt wurde. Während die Linien a und a' direct betrachtet werden, sucht man der beweglichen Linie b' eine solche Stellung zu geben, dass sie sich mit der unbeweglichen Linie b im

andern Sehfelde deckt. Da die Aufgabe des Versuchs darin besteht, den Ort der Deckung zu suchen, so versteht es sich von selbst, dass man die gegenseitigen Abstände der Parallelen von vorn herein absichtlich sehr verschieden macht. Man rückt also die bewegliche Linie *b'* entweder viel zu nah an die direct zu betrachtende *a'* heran, oder viel zu weit von ihr weg, und verschiebt sie dann, im Versuche selbst, langsam und vorsichtig, im ersten Falle von *a'* wegwärts, im zweiten nach *a'* hinwärts, bis schliesslich die Deckung hergestellt ist.

Bestände nun, wie Panum annimmt, für jeden empfindenden Punkt in einem Auge ein Empfindungskreis im anderen, so würde die Deckung mit dem Momente erfolgen, wo die bewegliche Linie mit ihrem oberen Endpunkte in diesen Kreis einträte. Indem aber dieses Eintreten, je nach der Stellung der beweglichen Linie vor dem Beginne des Versuches, in dem einen Falle an der i n n e r n, im andern an der ä u s s e r n Grenze des Kreises erfolgte, müssen die Versuche, für den Abstand des Deckpunktes vom gelben Flecke, zwei Werthe ergeben, einen zu kleinen und einen zu grossen. Der wahre Abstand nämlich, d. h. eine Distanz, welche der im andern Auge mit *ab* gegebenen, gleicht, wird deshalb nicht leicht vorkommen, weil der Beobachter, welcher nur Herstellung einer einheitlichen Erscheinung bezweckt, keine Veranlassung hat die bewegliche Linie bis in die Mitte des Empfindungskreises vorzuschieben, wenn das was er sucht an der Grenze des Kreises schon erreicht ist.

Nun würde zwar, mit Rücksicht auf die Beobachtungsfehler, nicht zu erwarten sein, dass sich in ausgedehnten Versuchsreihen jene beiden Abstände, der zu kleine und der zu grosse, durch feste Zahlen aussprächen, wohl aber müsste man beanspruchen, dass unter sämmtlichen vorkommenden Abstandswerthen z w e i Zahlen, statt einer, die meisten Chancen des Vorkommens hätten. Hierzu würde noch kommen, dass die Zahl, welche dem wahren Abstande entspräche, nach den Grundsätzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung am seltensten vorkommen müsste. Diese, wie mich dünkt unvermeidlichen Consequenzen der Panum'schen Theorie stehn mit den Ergebnissen meiner Versuche in directem Widerspruche. Am auffälligsten zeigt sich dies in Versuch 130, in welchem der Werth des wahren Abstandes nicht weniger als 8 Mal in 30 Fällen vorkommt.

Es dürfte hier der passendste Ort sein, auf meine Behaup-

tung, dass die Annahme von Empfindungskreisen ohne einen vollständigen Umsturz der Identitätslehre nicht denkbar sei, zurückzukommen, und PANUM's Gegenbemerkungen in Betracht zu ziehen.

Wenn man einmal annimmt, dass verschiedene Punkte ein und derselben Netzhaut (bezeichnet mit $abcd$ etc. für das linke und $a'b'c'd'$ etc. für das rechte Auge) von vorn herein räumlich gesonderte Empfindungen bedingen, und weiter annimmt, dass correspondente Punkte des einen und des andern Auges (also a und a', b und b') von vorn herein einheitliche Empfindungen hervorrufen, so bleibt bezüglich der Vorstellung, die man sich vom subjectiven Sehfelde zu machen hat, keine Wahl übrig. Die correspondirenden Punkte a und a' produziren eine einfache Empfindung, indem sie ihr Empfinden in den gemeinsamen Ort A des Sehfeldes unterbringen, die correspondenten Punkte b und b' dadurch, dass sie ihre Empfindung in den einen Ort B verlegen, und nach demselben Principe bedingen c und c' eine einfache Erscheinung bei C, d und d' bei D etc.

Wenn wir aber zufolge der Annahme, dass correspondente Punkte von vorn herein einfach empfinden, zu der weiteren Annahme gezwungen sind, dass a und a' ihre Empfindungen nach A verlegen, so müssen wir zufolge der Annahme, dass differente Punkte einer und derselben Netzhaut gesonderte Raumeindrücke bedingen, uns zu dem Geständniss bequemen, dass von vorn herein nur die correspondenten Punkte a und a' befähigt sind ihre Empfindung in A unterzubringen. Wollte man behaupten auch die differenten Punkte b' und c' könnten primitiv ihr Empfinden nach A verlegen, so wäre dies, mit Rücksicht auf die Definition der differenten Punkte, ein Widerspruch in sich selbst.

PANUM sagt, meine Demonstration sei deshalb unrichtig, weil ich mit den Buchstaben b' c' d' zweierlei verschiedene Werthgrössen bezeichne, nämlich einmal Punkte, welche in Combination mit a Doppelbilder geben müssen, und zweitens die in einem correspondenten Empfindungskreise gelegenen Punkte, welche sich mit a zu einer einfachen Erscheinung verbinden können, und welche, mit Rücksicht auf dieses besondere, nach den stereoskopischen Erfahrungen unzweifelhafte Vermögen, mit besonderen Zeichen etwa $\beta\gamma\delta$ eingeführt werden mussten.

Das Unstatthafte dieses Einwurfs ergiebt sich sofort, wenn man für die Gesammtsumme der sensibeln Elementartheile des

Auges einen bestimmten Werth einführt. Nehmen wir an mit *abcd* seien die sämmtlichen Elementartheile des einen mit a' b' c' d' die des andern Auges gegeben. Nun bezeichne ich, was PANUM für zulässig hält, mit $b'c'd'$ die Punkte, welche mit *a* Doppelbilder geben müssen, wo sollen dann die weiteren Punkte $\beta\gamma\delta$ herkommen, welche das specifische Vermögen besässen, sich mit *a* zu einer einheitlichen Empfindung verbinden zu können? Da $a' + b' + c' + d'$ der Totalsumme der vorhandenen Elementartheile gleich ist, so kann von anderweitigen Elementen, welche ihrer specifischen Functionen wegen besondre Bezeichnungen verlangten, nicht die Rede sein.

Hiernach würde die von WHEATSTONE erwiesene Thatsache, dass auch von differenten Punkten einheitliche Erscheinungen hervorgerufen werden, die Voraussetzungen, von denen wir ausgingen, und somit die Identitätslehre selbst vollständig widerlegen, wenn nicht der Lehrsatz: differente Punkte bedingen Doppelbilder, sich ausschliesslich auf die ursprüngliche Bestimmung derselben bezöge. Diese Bestimmung muss sich zwar beim reinen Empfinden, nicht aber dann geltend machen, wenn zu den einfachen Bedingungen des primitiven Sehens noch anderweitige, den Ablauf der Erscheinungen modificirende Einflüsse, hinzutreten.

Indem PANUM behauptet, dass die stereoskopische Verschmelzung ein Act der reinen Sinnlichkeit sei, und ohne irgend welche psychische Vermittlung zu Stande komme, hat er die Opposition WHEATSTONE's, gegen die Definition der differenten Punkte, anerkannt und hiermit die Identitätslehre, deren Berechtigung er nach einer Seite hin vertheidigen möchte, vollständig Preis gegeben. Er hat nämlich verkannt, dass die beiden Fundamentalsätze: Es giebt Netzhautelemente, welche bestimmt sind ihre Empfindungen in einem und demselben Orte des subjectiven Sehfeldes einzutragen, und es giebt andrerseits Elemente, welche dazu organisirt sind ihren Empfindungen räumlich verschiedene Orte im Sehfelde anzuweisen, solidarisch zusammenhängen. Dieser solidarische Zusammenhang fusst in dem Grundgedanken, dass alle von der einen und von der andern Netzhaut ausgehenden Empfindungen in dem einen Sehfelde von vorn herein zusammenfallen, und wird durch die oben vorgelegte mathematische Demonstration bündig nachgewiesen.

Der Satz der Identitätslehre: Differente Punkte bedingen räumlich doppelte Empfindungen, ist von den Gegnern derselben für gleichbedeutend mit dem Ausdrucke gehalten worden: Reizung differenter Punkte muss doppelte Empfindungen zur Folge haben. Hieran hat sich die Meinung, dass die stereoskopische Verschmelzung der Identitätslehre widerspreche, naturgemäss angeschlossen. Indess sind beide Sätze, wie schon angedeutet wurde, nicht identisch. Es kann Netzhautfasern geben, welche so organisirt sind, dass die Reize, welche sie dem Gehirn zuführen, von vorn herein den Eindruck eines räumlichen gesonderten machen, während es andrerseits psychische Kräfte giebt, welche diese ersten Eindrücke der reinen Sinnlichkeit transformiren und zu einem einheitlichen Bilde verschmelzen.

Die allgemeine Möglichkeit solcher Vorkommnisse ergiebt sich daraus, dass alle Raumanschauungen zusammengesetzte Functionen sind und einerseits von den anatomischen Einrichtungen unmittelbar, andrerseits von den empirisch erworbenen Vorstellungen mittelbar abhängen. Im 5. Abschnitte ist das Wechselverhältniss dieser beiden Factoren der räumlichen Anschauungen ausführlich besprochen worden, und habe ich dort namentlich die merkwürdigen Transformationen, welche die reinen Sinnesempfindungen durch die Vorstellungen erfahren können, durch zahlreiche Beispiele erläutert. Für die jetzt vorliegende Frage sind die Erfahrungen von besonderem Interesse, welche zeigen, dass sich die

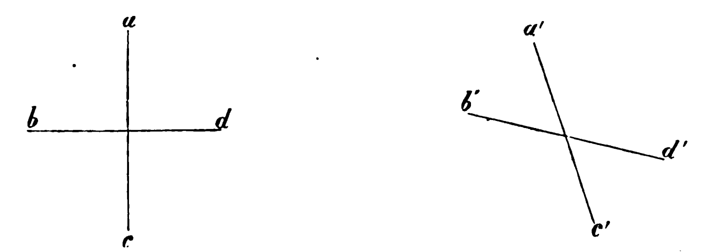


Fig. 29.

psychischen Einflüsse nicht blos auf das Verändern der durch die Projection geforderten Richtung beschränken, sondern auch auf die Veränderung der durch die Zahl der Empfindungskreise, oder durch den Umfang der gereizten Netzhautpartien, bedingten Grössen Einfluss haben.

Wenn Einflüsse der Vorstellung das rechtwinklige Kreuz *abcd*, dessen Arme gleiche Länge haben mögen, zu dem schiefwinkligen *a'b'c'd'* umformen (wie in Vers. 92), so ändern sie gleichzeitig die Abstände der Armenden, und zwar, wie die Versuche lehren, in sehr auffallender Weise.

Wenn nun die Vorstellung in den Raumanschauungen an die gegebenen Grössenverhältnisse des Netzhautbildes nicht gebunden ist, vielmehr grosse Distanzen wie *ab* und *cd* in kleine wie *a'b'* und *c'd'* verwandelt, so wird sie auch sehr kleine Distanzen, durch weitere Verkleinerung, zu unmerklichen umgestalten können. Gesetzt *a'b'* und *c'd'* wären solche geringe Distanzen, welche die Vorstellung bis zum Unmerklichen verkleinert hätte, so würden die sich kreuzenden beiden Linien *a'c'* und *b'd'* keine gesonderten Eindrücke mehr hervorrufen, und hiermit hätten wir bereits eine von differenten Fasern ausgehende einheitliche Erscheinung.

Aus Vorstehendem muss klar sein, warum ich behaupte, es sei nicht genug zu zeigen, dass den stereoskopischen Verschmelzungen eine Nothwendigkeit zu Grunde liege, sondern es sei weiter zu untersuchen, woher die Nöthigung komme. Liesse sich nachweisen, dass die Verschmelzung der von differenten Fasern gesetzten Empfindungen, in ein einfaches Raumbild, durch psychische Einflüsse bedingt würde, so stünde der Annahme, dass eben diese Fasern primitiv doppelt empfinden, nichts entgegen und die ihr von Panum substituirte Hypothese wäre überflüssig. Sie wäre aber nicht blos überflüssig, sondern unzulässig, da die für den Empfindungskreis aufgestellte Definition ausdrücklich ein reines Empfinden beansprucht und Alles von der Seele vermittelte ausschliesst. Nun kann zwar in einer Angelegenheit wie die vorliegende von exacten Beweisen nicht die Rede sein, da die in Frage kommenden Thatsachen nicht für sich selbst sprechen, sondern einer Deutung bedürfen, wohl aber lassen sich Wahrscheinlichkeitsbeweise vorlegen, welche dafür sprechen, dass die von differenten Fasern ausgehenden einfachen Raumbilder dem reinen Empfinden nicht angehören, sondern erst durch Vorstellungen oder allgemeiner durch psychische Einflüsse vermittelt werden.

§ 100. Der Einfluss der Vorstellungen auf die stereoskopische Verschmelzung wird zunächst dadurch erwiesen, dass die Grösse der Grenzdistanz in auffallendem Maasse davon abhängt, ob

wir in dem stereoskopischen Sammelbilde einen uns unbekannten Gegenstand wieder erkennen oder nicht.

Ich erläutre die Bedeutung des von mir eingeführten Wortes Grenzdistanz an einem bestimmten Falle. Wenn man jedem Auge zwei Parallellinien bietet, so erfolgt die stereoskopische Verschmelzung auch bei ungleichen Distanzen derselben, vorausgesetzt, dass der Unterschied der letzteren nicht ein gewisses Maass überschreitet. Mit dem Worte Grenzdistanz bezeichne ich nun das Maximum eines Unterschiedes, welches ohne Zerstörung der einheitlichen Erscheinung im stereoskopischen Versuche zulässig ist.

Diese Grenzdistanz wächst also mit der Verständlichkeit der Sammelbilder, wie ausser mir schon mehrere Schriftsteller angegeben haben. Personen, welche die ungleiche Richtung zweier im Stereoskop betrachteten Linien mit Sicherheit unterscheiden, verschmelzen eben dieselben Linien, wenn sie integrirende Elemente zweier architektonischen Zeichnungen, zweier Statuen, oder andrer ihnen wohlbekannter Objecte sind. Es ist einleuchtend, dass die stereoskopische Einheit hier aus dem Drucke der Vorstellung hervorgehe, und dass die Seele, um ein Bild zu erhalten, welches dem ihr bekannten Dinge entspricht, gewisse sinnliche Eindrücke verwerfe, die ihm nicht entsprechen.

§ 101. Bemerkenswerth ist ferner, dass die stereoskopische Verschmelzung auf künstlichem Wege verhindert werden kann, und zwar durch Mittel, von denen im höchsten Grade unwahrscheinlich ist, dass sie in die Vorgänge der reinen Sinnlichkeit eingreifen, während die Vermuthung, dass sie durch psychische Einflüsse wirken, sehr nahe liegt. Ich habe in meiner Abhandlung über die stereoskopischen Erscheinungen, in ihrer Beziehung zu der Lehre von den identischen Netzhautpunkten, eine ziemliche Anzahl hierher gehöriger Versuche mitgetheilt,*) und will hier, unter Verweisung auf das früher Erörterte, nur einen derselben wiederbringen, um einen Anhaltepunkt für die allgemeinen Betrachtungen zu haben.

Versuch 135.

Ich biete jedem Auge ein Paar senkrechte Parallellinien und mache die gegenseitige Distanz derselben im rechten Sehfelde

*) Archiv für Ophthalmologie B. V. Abth. 2. S. 19.

(Fig. 30 *r*) um den Betrag der Grenzdistanz grösser als im linken (Fig. 30 *l*). Diese Parallelen werden jederseits durch einen kleinen Querstrich verbunden, und zwar in der Weise, dass beide Horizontale in g l e i c h e r Höhe liegen. Nun sieht man bei gehöriger Einstellung der Augen nur zwei senkrechte Linien, welche durch einen einfachen Querstrich verbunden sind, also ein Sammelbild wie in Fig. 30 *s*.

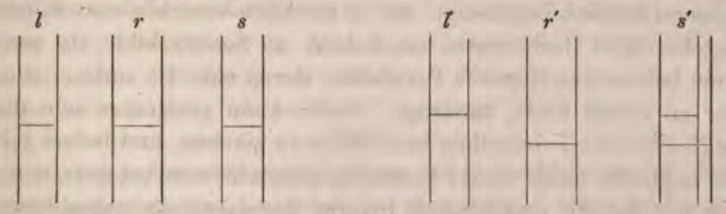


Fig. 30.

Hierauf zeichne ich die Parallelen genau in denselben Dimensionen noch einmal, verbinde sie aber durch Querstriche, welche in merklich v e r s c h i e d e n e n Höhen liegen, wie in *l'* und *r'* der vorstehenden Figur. Werden nun die Augen auf die beiden zur Linken gelegenen Linien eingestellt und in dieser Stellung festgehalten, so sieht man das Sammelbild *s'*, welches nicht blos 2, sondern 3 Senkrechte zu erkennen gestattet. Es decken sich nämlich nur die beiden linken Linien, welche direct betrachtet werden und also im Netzhautbilde sehr annäherungsweise in die senkrechten Trennungslinien fallen, während die im indirecten Sehfelde gelegenen Senkrechten ihre Deckung aufgeben und in Doppelbilder auseinander treten.

Fragt man warum die Verlegung der beiden Querstriche, in merklich ungleiche Höhen, die anfänglich bestehende Deckung aufhebe, so ist die Annahme, dass dies von psychischen Einflüssen abhänge, gewiss die wahrscheinlichste. Der Zusammenhang scheint folgender: Im ersten Falle überwiegt die Aehnlichkeit der beiden Figuren in sehr auffallender Weise die Unähnlichkeit. Die im linken und im rechten Sehfelde angebrachten Linien haben gleiche Richtung und gleiche Länge, die horizontalen Querstriche stehen in gleicher Höhe und stellen Hförmige Figuren her, in welchen das Verhältniss der oberen Hälfte zur unteren sich beiderseits vollkommen gleich ist. Nur die Distanz der Parallelen ist in etwas verschieden. Die Seele, welche die von beiden Augen ausgehen-

den Reize gleichzeitig empfängt, wird von diesem geringen Unterschiede nicht lebhaft genug erregt, um ihn wahrzunehmen, sie übersieht ihn also, nicht weil es an dem sinnlichen Vorgange fehlt, der ihn meldet, sondern weil sie selbst für die Meldung zur Zeit taub ist.

Im zweiten Falle tritt ein Umstand ein, welcher die Wahrnehmung des bis dahin übersehenen Unterschiedes der Distanzen ausserordentlich begünstigt. Die in merklich verschiedenen Höhen angebrachten Horizontalen erscheinen im Sammelbilde als zwei nahe beisammen liegende Parallelen, deren eine die andere, aber nur an einem Ende, überragt. Nichts kann geeigneter sein die ungleiche Grösse derselben bemerkbar zu machen, und indem wir die ungleiche Länge dieser Verbindungsstriche wahrnehmen, werden wir auf die verschiedene Distanz der durch sie verbundenen Senkrechten nachdrücklich hingewiesen. Wird einmal wahrgenommen, dass der untere Querstrich des Sammelbildes *S'* den obern überragt, so muss die Seele entweder die sichtliche Verbindung beider mit den senkrechten Parallelen negiren, wozu kein Grund vorliegt, oder sie muss erkennen, dass das vorspringende Ende der unteren Horizontalen an eine a n d e r e Senkrechte anstösst, als das zurücktretende Ende der Oberen. Es kommt also ein sinnlicher Reiz dem andern zu Hülfe, aber nicht dadurch, dass er sich mit ihm zu einem verdoppelten Impulse verbindet, in welchem Falle der Vorgang im Gebiete der reinen Sinnlichkeit verbliebe, sondern dadurch, dass er die Seele zu Reflexionen veranlasst, welche ihr die bis dahin übersehene Ungleichheit der Distanzen beachtenswerth und in Folge der Beachtung erkennbar machen.*)

Ein überaus viel wirksameres Verfahren die Wheatstone'sche Verschmelzung zu verhindern, habe ich ohne ausdrücklich darauf hinzuweisen, in den Versuchen vorgelegt, welche die Aufsuchung der identischen Punkte zur Aufgabe hatten (§ 94). Es wurden jedem Auge 2 senkrechte Linien geboten, von welchen die eine beweglich war. Diese Linien hatten, wie Fig. 31 lehrt, nicht

*) Der eben besprochene Versuch gelingt nur, wenn der Distanzunterschied der senkrechten Parallelen ein ansehnlicher ist, d. h. der Grenzdistanz sehr nahe kommt. Daher kann er auch nur gelingen, wenn man den Werth der Grenzdistanz für sein Auge ermittelt und die stereoskopischen Figuren mit Rücksicht auf diese construirt hat.

gleiche Länge. Die Senkrechten aa' sind lang und schneiden die Horizontale hh', die Senkrechten bb' dagegen sind kurz und berühren nur die letztere, b von oben, und b' von unten.

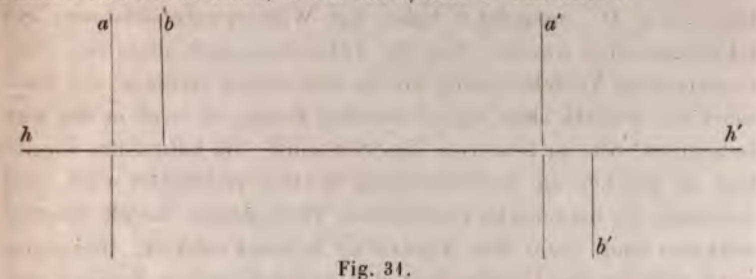


Fig. 31.

In Folge dieser Einrichtung kann die in der Richtung hh' verschiebbare Linie b' nie so gestellt werden, dass sie mit b sich deckt, vielmehr kann im günstigsten Falle nur der unterste Punkt von b mit dem obersten von b' verschmelzen. Gerade dies wollte ich.

Wären sämmtliche Senkrechte von gleicher Länge, so würde die bewegliche eine nicht ganz unbeträchtliche Verschiebung oder was dasselbe sagt ein ziemliches Schwanken der Distanz $a'b'$ gestatten, ohne dass die Verschmelzung in Wegfall käme. Kleinere Distanzunterschiede gleich langer Linien nehmen, wie es scheint, das Interesse der Seele zu wenig in Anspruch, um hinreichende Beachtung zu finden. Sind dagegen die Linien bb' kleiner als aa' und in der Weise gestellt, wie Fig. 31 angiebt, so handelt es sich nicht mehr ausschliesslich um die Wahrnehmung des Distanzunterschiedes. Gesetzt nämlich die Linie b' wäre falsch eingestellt worden, und fiele in Folge dessen die Distanz $a'b'$ entweder zu klein oder zu gross aus, so würden die kleinen Linien b und b' im Sammelbilde nicht direct über einander zu liegen kommen, wie doch nöthig um das Bild einer zusammenhängenden Linie herzustellen. Die Distanzunterschiede, welche für sich allein nicht im Stande waren die differenten Raumeindrücke differenter Fasern zum Bewusstsein zu bringen, forciren, um Fechner's Ausdruck zu brauchen, die Schwelle des Bewusstseins, wenn sie sich mit dem Bilde einer discontinuirlichen Linie verbinden.

Nach allem Vorhergehenden nehme ich an, dass die stereoskopische Verschmelzung sich in vielen Fällen auf eine mangelnde Schärfe im Beobachten zurückführen lasse, und dass die Mittel, welche die von differenten Fasern zu erwartenden, aber im ste-

reoskopischen Versuche vermissten, Doppelbilder hervorrufen, durch eine Steigerung der Aufmerksamkeit wirken.

Diese Ansicht, welche ich schon im Archiv für Ophthalmologie (a. a. O.) ausgeführt habe, hat Widerspruch erfahren. So ist eingeworfen worden, dass die Aufmerksamkeit allein eine stereoskopische Verschmelzung nie zu verhindern vermöge, ein Einwurf der deshalb ohne irgend welchen Belang ist, weil er das nur behauptet, was zu beweisen ihm zukommt. Ich habe Fälle vorgelegt, in welchen die Verschmelzung factisch verhindert wird, und vereinige die mancherlei psychischen Thätigkeiten, welche hierbei wirksam sind, unter dem Ausdrucke Aufmerksamkeit. Hiergegen wird sich bei der Unsicherheit der psychologischen Nomenclatur nichts Erhebliches sagen lassen, doch lege ich auf den Ausdruck nicht das mindeste Gewicht. Denn da die Rechtfertigung der Identitätslehre der Hauptzweck der gegenwärtigen Abhandlung ist, so genügt es mir zu zeigen, dass die stereoskopische Verschmelzung durch Vermittlung psychischer Vorgänge, gleichviel welcher, zu Stande komme.

Die Versuche, durch welche ich zu zeigen suchte, dass sich die stereoskopische Verschmelzung durch eine der Aufmerksamkeit ähnliche Seelenthätigkeit verhüten lasse, sind alle einzeln von PANUM durchgesprochen und schliesslich verworfen worden.*) Es scheint mir ausreichend, meine Leser hiermit auf die bezügliche Schrift verwiesen zu haben, ein näheres Eingehn auf die gegen mich gerichtete Discussion dürfte unerspriesslich sein.

§ 102. Ein dritter Umstand, welcher für die Abhängigkeit der stereoskopischen Verschmelzungen von der Vorstellung spricht, ist ihr so inniger Zusammenhang mit der Wahrnehmung der Tiefe. Dass nämlich letztere selbst zu den Errungenschaften psychischer Thätigkeit gehöre, ist kaum zu bezweifeln. Ganz undenkbar scheint, dass die Tiefenanschauung, also das Unterscheiden des Nahen und Fernen einem Individuum zukommen könnte, welchem die allgemeinere Fähigkeit sich, als Subject, dem Dinge, als Object, gegenüberzustellen abginge, und doch kann diese Fähigkeit dem Subjecte nicht angeboren sein. Die Wärme, welche uns von

*) PANUM, Ueber die einheitliche Verschmelzung verschiedener Netzhauteindrücke beim Sehen mit zwei Augen. Archiv für Anat. u. Physiol. von REICHERT und DU BOIS-REYMOND. 1861. S. 63.

einem Ofen zugeführt wird, und die Wärme, welche durch einen gesteigerten Nutritionsprocess in unserm eignen Körper entsteht, sind, so lange wir auf dem Standpunkte des reinen Empfindens verharren, nicht unterscheidbar. Erst wenn wir inne werden, dass wir das Hitzegefühl eines entzündeten Gliedes bei allen Ortsveränderungen constant mit uns herumtragen, dagegen das Hitzegefühl, welches vom Ofen ausgeht, durch Annäherung an diesen willkürlich steigern und durch Entfernen von ihm eben so willkürlich vermindern und schliesslich beseitigen, entwickelt sich nach und nach das Vermögen, gewisse immanente Zustände als Kennzeichen eines auf uns einwirkenden äussern Gegenstandes aufzufassen. Dieselben Verhältnisse kehren beim Sehen wieder. Wenn nun die reine Empfindung ein für alle Mal unfähig ist, die Trennung eines uns Aeussern von einem uns Innern zu Stande zu bringen, so wird ihr auch die Wahrnehmung der Tiefe verschlossen bleiben, da diese ohne ein Nachaussensetzen des Empfundenen nicht denkbar ist.

Der innige Zusammenhang der stereoskopischen Verschmelzung einerseits und der Tiefenanschauung andrerseits erlaubt eine Gemeinsamkeit der Bedingungen beider vorauszusetzen, und so gewinnt die Annahme, dass die einheitlichen Empfindungen differenter Fasern einer psychischen Vermittlung ihr Dasein verdanken, durch das Vorausgehende sehr an Wahrscheinlichkeit.

Genau die entgegengesetzten Ansichten werden von PANUM vertreten. Seiner Meinung nach ist auch die Wahrnehmung der Tiefe ein Act der reinen Sinnesthätigkeit, und schon weil sie es ist, muss die stereoskopische Verschmelzung es auch sein. Er behauptet nämlich »wir seien durch eine dem binocularen Sehen immanente Empfindungsqualität befähigt, Ortsempfindungen von den Punkten zu erhalten, wo die den zusammengehörigen Conturen zukommenden Projectionslinien im äussern Raume zusammenstossen.«*)

Obschon ich in der oben gegebenen Darstellung der Projectionslehre die allgemeinen Grundsätze bereits entwickelt habe, welche bei Beurtheilung dieser irrigen Behauptung in Frage kommen, so scheint es doch angemessen, ihre Unzulässigkeit speciell nachzuweisen, um so mehr als unter den jüngern Schriftstellern

*) Archiv für Anat. u. Physiol. v. REICHERT u. DU BOIS REYMOND 1861. S. 100.

ihr Mehrere beipflichten. — Ich werde PANUM's Darstellung im Wesentlichen wörtlich wiedergeben.

Die vier Bildpunkte 1, 2, 3 und 4 (vgl. Fig. 32) können je nach Umständen in *a*, in *b*, in *c* oder in *d* erscheinen, aber nicht an-

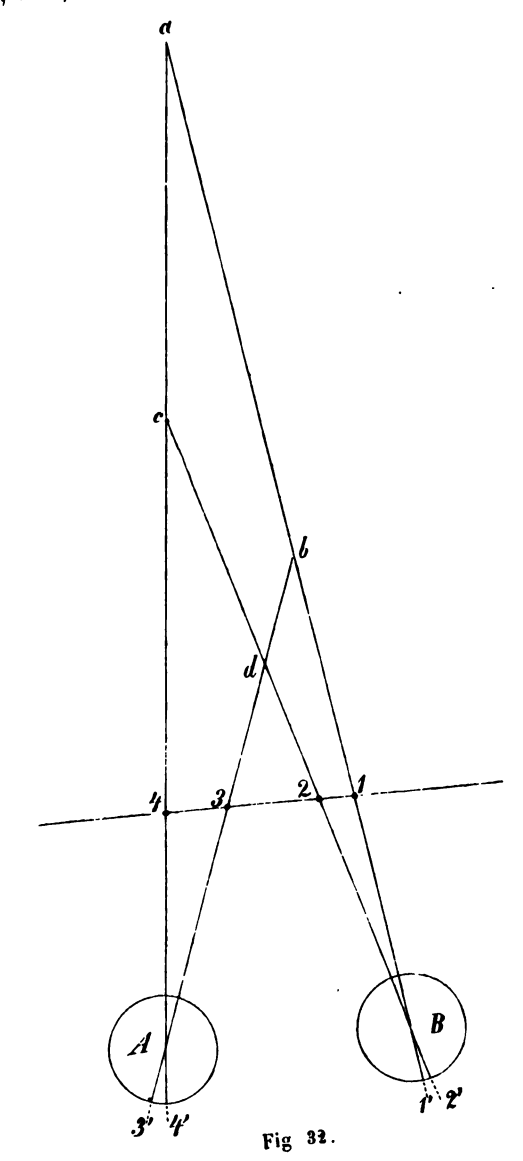


Fig 32.

derswo als in einem dieser 4 Raumpunkte. Treffen z. B. 1 und 3 die Mittelpunkte der correspondirenden Empfindungskreise (wirklich correspondirende Punkte) in beiden Augen, wie beim vollkommnen Fixiren derselben, so erscheint das einfach gesehene Sammelbild von 1 + 3 allemal und ganz unzweifelhaft in *b*. Wenn nun 2 und 4 als Doppelbilder sichtbar sind, so bleibt man in der That in Zweifel, ob *c* oder *d* der scheinbare Ort für den Bildpunkt 2 ist, und ob der Bildpunkt 4 auf den Raumpunkt *c* oder auf *a* zu beziehen ist. Wenn aber das Netzhautbild von 4 innerhalb desjenigen correspondirenden Empfindungskreises des Auges *A* fällt, der demjenigen Netzhautpunkte entspricht, welcher im Auge *B* vom Bildpunkte 2 getroffen wird, so fällt jene Unbestimmtheit weg, und das einfach gesehene Sammelbild von 2 + 4 erscheint immer und unzweifelhaft in *c*, niemals in *d* oder in *a*. Das Eigenthümliche seiner Ansicht setzt schliesslich Panum darein: dass er die Wahrnehmung der Projectionslinien und ihrer gegenseitigen Beziehungen zu einander an ihren Kreuzungspunkten bei der jedesmaligen ruhigen Augenstellung als reine Sinnesqualität, etwa dem Farbensehen vergleichbar, und nicht als etwas Angelerntes, oder durch secundär eingreifende Functionen des höhern Seelenlebens hervorgebracht ansehe.«

Untersuchen wir nun das Thatsächliche, so ist unbegründet, dass das Sammelbild der fixirten Bildpunkte (1 und 3 der Figur) in den Kreuzungspunkt der Projectionslinien, also nach *b* der Figur, gelegt werden müsse. Wäre dies nothwendig, so müsste man das Sammelbild zweier auf ein Papierblatt verzeichneten Punkte, deren horizontale Distanz, dem gegenseitigen Abstande der Augenmitten gliche, in unendlicher Entfernung erblicken, was nicht der Fall ist. Vielmehr liegt der scheinbare Ort des Sammelbildes nicht nur im angeführten Falle, sondern in jedem wo zwei fixirte Punkte verschmelzen, in der Fläche, auf welche sie verzeichnet sind, und wiederum erscheint die Fläche selbst ungefähr da, wo sie sich wirklich befindet. Hieraus ergiebt sich aber, dass der scheinbare Ort eines derartigen Sammelbildes nie im Kreuzungspunkte der Projectionslinien liege, also auch das Sammelbild von 1 + 3 nicht in *b*.

Panum construirt die scheinbaren Orte der betrachteten 4 Punkte mit Hülfe von Richtungslinien, und verfällt in den oben gerügten Fehler, Empfindungsvorgänge aus Linien abzuleiten, die

nur in der Optik Sinn und Bedeutung haben. Seine Schlussfolge scheint darauf hinaus zu kommen: Da die Punkte 1 und 2 sich decken, so ist *b* der scheinbare Ort der beiden Punkte. Dieser Schluss wäre nur richtig, wenn das Object selbst, mit welchem die Punkte 1 und 2 sich decken, nothwendig bei *b*, d. h. an seinem wahren Orte erscheinen müsste. Dagegen ist zu sagen, dass der scheinbare Ort mit dem wirklichen nicht nothwendig zusammenfällt. Der scheinbare Ort ist überhaupt nicht demonstrabel, denn er existirt nur in der Empfindung, und die Empfindung ist nur für den da, der sie selbst hat. PANUM's Versuch, die scheinbaren Orte an bestimmte Punkte im objectiven Raume zu binden, und hieraus die Tiefenanschauungen mathematisch abzuleiten, ist ein von vorn herein vergeblicher.

Um in das Gebiet des Thatsächlichen zurückzukehren, will ich einen hierher gehörigen Versuch beschreiben.

Versuch 136.

Ich biete jedem Auge zwei senkrechte Linien, welche zu einem stereoskopischen Versuche mit unbewaffneten Augen benutzt werden sollen. Die erste und die dritte Linie, welche direct betrachtet werden und verschmelzen, haben eine gegenseitige Distanz von 68^{mm}, ein Abstand, welcher dem meiner mittleren Knotenpunkte genau gleicht und folglich eine Einstellung der Augen auf die unendliche Ferne erfordert. Die gegenseitige Distanz der zweiten und vierten Linie dagegen beträgt 69,5^{mm} woraus sich von selbst ergiebt, dass die zugehörigen Projectionslinien von innen nach aussen divergiren und folglich sich nirgends kreuzen. Bei binocularer Betrachtung der Parallelen verschmelzen nun nicht blos die Linien 1 und 3, sondern auch die Linien 2 und 4, und das Sammelbild der Linie 2 + 4 liegt scheinbar e n t f e r n t e r, als das durch 1 + 3 gebildete.

Dieses Ergebniss widerspricht den Angaben PANUM's in doppelter Beziehung. Wäre gegründet, dass der scheinbare Ort von 1 + 3, in Folge der parallelen Axenstellung, in unendlicher Ferne liegen müsste, so könnte das Sammelbild von 2 + 4 nicht noch weiter entlegen erscheinen, und wäre thatsächlich, dass die 4 Linienbilder 1, 2, 3 und 4 nicht anderswo, als in *a*, *b*, *c* und *d*, das will sagen in der Richtung der Projectionslinien erscheinen könnten, so dürften die Linien 2 und 4 mit Rücksicht auf die Divergenz

der Projectionslinien nicht verschmelzen. Die von der Projectionslehre aufgestellte Erklärung der stereoskopischen Tiefenanschauungen ist offenbar unrichtig. Ich versuche eine andre zu geben und bemerke einleitend Folgendes:

Wenn man vier senkrechte und parallele Linien so aufzeichnet, dass sie sich zu einem stereoskopischen Versuche eignen, also beispielsweise wie 1, 2, 3 und 4 in nachstehender Figur,

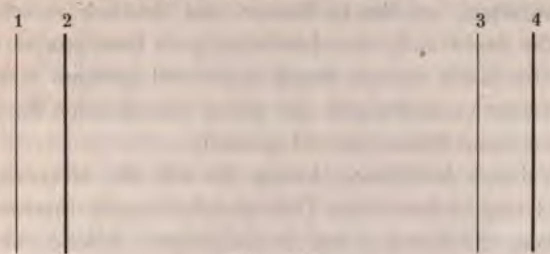


Fig. 33.

so wird die Tiefenanschauung durch folgendes Gesetz bestimmt:

Das Sammelbild, welches aus directer Betrachtung zweier distanten Linien hervorgegangen ist, erscheint näher, als das Sammelbild, respective als die Doppelbilder, zweier Linien von vergleichsweise grösserem gegenseitigem Abstande, und entfernter, als das Sammelbild, respective die Doppelbilder, zweier Linien von geringerem Abstande, als der ist, welchen sie selbst haben.

Indem nun die Distanz der linken Parallelen geringer als die der rechten ist, erscheint 1 + 3 näher als 2 + 4, ebenso 2 + 3 näher als die zwei Bilder von 1 und 4. Dagegen erscheint 2 + 4 entfernter als 1 + 3, desgleichen 1 + 4 entfernter als die getrennten Bilder von 2 und 3.

Berücksichtigt man statt der Linienabstände die Convergenzwinkel der Augenaxen, was für das Verständniss des Causalzusammenhangs vortheilhaft ist, so kann man dem vorstehenden Gesetze folgenden Ausdruck geben:

Wenn der Winkel, unter welchem sich die Sehaxen bei directer Betrachtung zweier Linien kreuzen, grösser ist, als derjenige Winkel, unter welchem sich die Sehaxen bei directer Betrachtung der anderen Linien kreuzen würden, so erscheinen die letzteren als die ferner gelegenen, und umgekehrt.

Nun kennen wir zwar die Grösse dieser Winkel nicht, wohl

aber kennen wir die Augenbewegungen, die wir ausführen müssen, um jetzt ein Näheres unter einem grösseren Convergenzwinkel, und dann ein Ferneres unter einem kleineren Convergenzwinkel zu fixiren. In Folge dieser Erkenntniss schätzen wir die Entfernung nicht blos nach dem Gefühle der Bewegungen, die wir beim Fixiren eines Gegenstandes wirklich ausführen, sondern wir schätzen sie auch nach der Vorstellung von der Bewegung, die wir machen müssten, um ihn zu fixiren und deutlich zu sehn. Dass nämlich die Seele auch von beabsichtigten Bewegungen Vorstellungen habe, kann ebenso wenig in Zweifel gezogen werden, als dass derartige Vorstellungen die ihnen anhaftenden Beziehungen zum Raume beim Sehen geltend machen.

Nach dieser Auffassung haben die mit der stereoskopischen Verschmelzung verbundenen Tiefenanschauungen durchaus nichts Specifisches. Sie beruhen auf Vorstellungen, welche von vorhergegangenen sinnlichen Eindrücken, und zwar von Eindrücken, welche nicht blos die Augen, sondern auch das Getast und die Muskelbewegungen gemacht haben, in höchst complicirter Weise abhängen. Hier, wie überall, handelt es sich um eine Schätzung der Entfernung, wobei die Individualität ihre Rechte in weitestem Maasse geltend macht. Zwar ist das Urtheil darüber, ob das eine oder das andre von zwei gegebenen Objecten näher liege, ziemlich sicher, dagegen sind die absoluten Ortsbestimmungen (PANUM construirt die Raumpunkte, in welche der scheinbare Ort allemal und unzweifelhaft falle) im höchsten Grade schwankend und ungenau.

Auf diese Weise erklärt sich die Möglichkeit, dass wir das Sammelbild zweier Punkte, welche mit parallelen Augenaxen betrachtet werden, in die Fläche eines nahe vor den Augen befindlichen, und eben so nahe erscheinenden, Papierbogens verlegen, desgleichen erledigen sich die scheinbaren Widersprüche, auf welche wir in Versuch 136 stiessen, vollständig.

§ 103. Schon aus allgemeinen Gründen möchte ich annehmen, dass das Verschmelzen der Doppelbilder zu einheitlichen Erscheinungen in einer Verdrängung der primitiven Empfindung durch das Urtheil ihren Grund habe.*) Wir machen die Erfahrung,

*) Natürlich ist hierbei nicht an das Urtheil der Ueberlegung zu denken. Dass aber reine Empfindungen durch eine Art instinctives Urtheil verdrängt werden können, beweist die unverhältnissmässige Grösse des aufgehenden

dass die einfachen Bilder, welche wir bei Fixirung der Objecte erhalten, den räumlichen Verhältnissen der Dinge adäquat sind, die Doppelbilder uns ein Doppeltes vorspiegeln, was in der Natur der Dinge nicht da ist. Wir bemerken ferner, dass diese inhaltslosen Doppelbilder nur bei gewissen Stellungen der Augenaxen auftreten, die wir willkürlich verändern können, und erlangen somit die Einsicht, dass die Verdoppelung der Objecte nur auf Rechnung der Fehlerhaftigkeit unsrer Augenstellung komme. Auf diese Weise verlieren die Doppelbilder das Interesse, welches die sinnlichen Eindrücke zu begleiten pflegt und die Seele entzieht ihnen ihre Aufmerksamkeit, um sich der bereits gewonnenen Vorstellung des räumlich Einfachen desto ungestörter hinzugeben. Allmählich geht aber die Vorstellung von der Einfachheit der Objecte bis auf einen gewissen Grad in die Empfindung über, so dass das einfache Ding nicht blos einfach gedacht, sondern sogar als einfach empfunden wird. Freilich kann es in den meisten Fällen bis zu einer Umbildung des sinnlich gegebenen Stoffs nicht kommen, nämlich dann nicht, wenn die von den Doppelbildern ausgehenden Erregungen ihre räumliche Differenz in einem Maasse geltend machen, gegen welche das Streben der Seele, nach einfacher Anschauung des von ihr als einfach Erkannten, nicht aufkommt.

Ich glaube zu Gunsten der eben angestellten Betrachtung zunächst auf den durchaus naturgemässen Zusammenhang hinweisen zu dürfen, welcher zwischen ihr und dem oben erwiesenen Einflusse der Aufmerksamkeit stattfindet. Wenn das Urtheil über die reale Einheit der Objecte, innerhalb gewisser und freilich enger Grenzen, die Sinneneindrücke verdrängt, d. h. die von differenten Fasern bedingten Doppelbilder in einheitliche Erscheinungen umsetzt, so kann es nicht befremden, dass eine solche Einheit wieder verloren gehe, wenn anderweitige psychische Thätigkeiten, welche ich unter dem Ausdrucke Aufmerksamkeit zusammenfasse, der reinen Empfindung zu Hülfe kommen und ihr dadurch ein Uebergewicht sichern.

Auch der Einfluss der Uebung auf die Verkleinerung der

Mondes, ferner die überwiegende scheinbare Grösse einer Landstrecke im Vergleiche mit einer eben so grossen Wasserstrecke. Im 5. Abschnitte finden sich zahlreiche Beispiele, welche die Transformation der primitiven Empfindungen durch eine dem Urtheilen verwandte Seelenthätigkeit ausser Zweifel setzen.

Grenzdistanz (§ 100) scheint meiner Ansicht zu Gute zu kommen. Anlangend das Thatsächliche, so habe ich mit dem unter Nr. 23 schematisch abgebildeten Instrumente grosse Versuchsreihen angestellt, um den mittleren Werth der Grenzdistanz zu ermitteln. Aus den geraume Zeit fortgesetzten Versuchen ergab sich, dass diese Mittelwerthe unablässig sanken und endlich eine Verkleinerung um mehr als das Doppelte erfuhren.

Wenn nun das ungeübte Auge Eindrücke verschmilzt, welche das geübte räumlich sondert, so hat letzteres nicht neue Organe zum Unterscheiden gewonnen, sondern nur die Fähigkeit erlangt, schon vorhandene passend zu benutzen. Hatte die Erkenntniss der realen Einheit des Objectes zu einer Missachtung der Doppelbilder, und in Folge dessen zur Verschmelzung geführt, so wird ein anhaltendes Reflectiren auf die Doppelbilder den sinnlichen Eindruck in den Vordergrund schieben und den Prätensionen des Urtheils ein Ende machen. Die Verkleinerung der Grenzdistanz ist innerhalb gewisser Grenzen wohl nur eine *restitutio in integrum* der primitiven Empfindung. Jedenfalls aber ist einleuchtend, dass solange die Grenzen der Uebungseinflüsse unbekannt sind, die Behauptung, dass auch differente Fasern einheitliche Empfindungen organisch bedingen, eine sehr zweifelhafte Hypothese sei.

Ein dritter Umstand, welcher für meine Auffassung spricht, ist die auffallende Ungleichheit der Grenzdistanzen unter verschiedenen Meridianen und die in den Grössenunterschieden derselben bemerkbare Gesetzlichkeit.

Je häufiger wir in den Fall kommen, die von zwei differenten Netzhautpunkten bedingten Doppelbilder der bessern Erkenntniss gegenüber zu verwerfen, um so geneigter werden wir sein, die von solchen Punkten ausgehenden Eindrücke zu vernachlässigen, und um so fähiger, die abgeschwächte primitive Empfindung in eine mehr befriedigende, wenn auch complicirtere, umzusetzen. Je mehr aber jene Neigung und diese Fähigkeit wächst, um so mehr muss die Grösse der Grenzdistanz auch wachsen.

Mit Rücksicht hierauf ist wichtig, dass die Fälle, welche das Misstrauen gegen die Doppelbilder begründen, je nach der Lage der differenten Punkte unter diesen oder jenen Meridianen, bald häufiger bald seltner vorkommen. Was nämlich die reale Grundlosigkeit der Doppelbilder hauptsächlich ausweist, ist das Verschwinden derselben beim Fixiren des Objectes. Die Fixirbewe-

gungen sind aber in der horizontalen Richtung am ausgiebigsten, in der senkrechten Richtung gleich Null, und in jeder andern Richtung um so einflussreicher, je mehr sie der horizontalen sich nähert. Wenn also Netzhautelemente in denjenigen grössten Kreisen der Netzhaut liegen, welche den horizontalen Meridian senkrecht schneiden, so werden sie häufiger als alle übrigen zur Wahrnehmung von Doppelbildern kommen, aber sie werden auch häufiger als alle übrigen sich von der Grundlosigkeit derselben überzeugen können.

Die von mir aufgestellte Annahme, dass die stereoskopische Verschmelzung theilweise von einem Verdrängen der Empfindungen durch Urtheile abhänge, includirt daher die zweite, dass die Grenzdistanz von der Richtung der Meridiane, in welchen die differenten Punkte liegen, abhängen und um so grösser sein werde, je mehr sich die Richtung des bezüglichen Meridians der senkrechten nähere. Ich habe in meiner frühern Arbeit zahlreiche und sorgfältige Messungen vorgelegt, welche diese merkwürdige Consequenz vollkommen bestätigen.

§ 104. Was im Vorhergehenden über die Beziehungen der stereoskopischen Erscheinungen zur Identitätslehre auseinandergesetzt worden, berücksichtigt so vielfach Einzelnheiten, dass vielleicht die Uebersichtlichkeit des Ganzen darunter gelitten hat. Ich versuche meine Ansicht in wenige Worte zusammenzudrängen.

Wheatstone zeigte, dass stereoskopische Bilder, obschon sie auf differente Nervenfasern fallen, doch einfach erscheinen, und betrachtete dies als einen Widerspruch mit der Identitätslehre, indem er meinte, dass differente Fasern unter allen Umständen Doppelbilder bedingen müssten. Diese Meinung bestreite ich. Von denselben Netzhautelementen gehen Raumanschauungen der verschiedensten Art aus, je nachdem der Empfindungsvorgang nur von den angeborenen organischen Einrichtungen, oder secundär auch von erworbenen Vorstellungen abhängt. Wenn also differente Fasern beim einfachen Empfinden räumlich gesonderte Eindrücke hervorrufen, so folgt hieraus nicht, dass sie unter dem accessorischen Einflusse höherer Seelenthätigkeiten dasselbe thuen. Die Identitätslehre abstrahirt aber von solchen psychischen Einflüssen gänzlich. Was sie von den specifischen Functionen der identischen und differenten Netzhautpunkte aussagt, beschränkt sie auf die Vorgänge der reinen Empfindung. Ihr Lehrsatz: »differente Punkte

bedingen Doppelbilder«, gestattet, oder verlangt vielmehr, den Nachsatz: wenn der Empfindungsvorgang ein reiner und nicht etwa von anderweitigen psychischen Thätigkeiten abhängig ist.

Hieraus ergiebt sich, dass die von WHEATSTONE gewonnenen Erfahrungen die Identitätslehre nur dann widerlegen würden, wenn sie den Beweis lieferten, dass die von differenten Fasern ausgehenden einheitlichen Erscheinungen Erzeugnisse der reinen Empfindung wären. Dieser Beweis ist nicht nur nicht geliefert, sondern eine Menge Umstände vereinigen sich das Gegentheil wahrscheinlich zu machen.

WHEATSTONE selbst hat gezeigt, wie der Anschein des Körperlichen damit zusammenhänge, dass ein Object dem linken Auge anders erschiene als dem rechten, und die Wirkung seines sinnreichen Instrumentes beruht eben darauf, dass die im linken und rechten Sehfelde befindlichen ungleichen Bilder uns die differenten Eindrücke zurückrufen, welche das linke und das rechte Auge bei binocularer Betrachtung eines Objectes empfangen. Dass aber diese differenten Eindrücke nur unter Vermittlung der Seele zu einem widerspruchlosen Ganzen verschmelzen können, ist unverkennbar. Wie es nur mit Hülfe der Erfahrung und unter Mitwirkung der verschiedensten Seelenthätigkeiten dahin kommen kann, dass wir den Würfel, den wir sehen, und den Würfel, den wir fühlen auf ein und dasselbe Ding beziehen, so bedarf es unstreitig einer langen Lehrzeit, bevor wir im Stande sind aus den ungleichen Würfelbildern des linken und des rechten Auges das Unvereinbare auszuscheiden und beide in eine Raumanschauung zu verschmelzen, welche weder mit dem einen noch mit dem andern rein sinnlichen Eindrucke übereinstimmt. Das in der Form des Körperlichen erscheinende Bild eines Körpers hat die Seele nicht fertig von den Augen empfangen, sondern aus einem umfangreichen und verschiedenartigen Sinnenmateriale selbstthätig zusammengesetzt.

§ 105. Man hat mit Beziehung auf stereoskopische Erfahrungen nicht nur die specifische Qualität der differenten Netzhautpunkte sondern auch die der identischen in Frage gestellt. Es sind Versuche vorgelegt worden, welche beweisen sollen, dass zwei Linien selbst in solchen Fällen im Doppelbilde erscheinen können, wo ihre Netzhautbilder auf identische Trennungslinien zu liegen kommen.

Zur Widerlegung dieser Versuche genügt es zu bemerken, dass sie auf das Zusammenfallen der Trennungslinien mit den correspondenten Meridianen rechnen, eine Voraussetzung, deren Unrichtigkeit ich im Vorhergehenden erwiesen habe. Gleichwohl will ich einen hierher gehörigen Versuch, dessen Erklärung schon oft vergeblich versucht worden, speciell berücksichtigen. Der Versuch ist von WHEATSTONE angestellt und wie folgt beschrieben:

Wird dem rechten Auge eine Verticale (1) und dem linken eine von der Senkrechtigkeit etwas abweichende (wie die Figur lehrt nach links neigende) Linie (2) in dem Stereoskope dargeboten, so sieht man eine Linie, deren Extremitäten sich in verschiedenen Entfernungen vom Auge zu befinden scheinen. Es werde nun auf das Blatt für das linke Auge in der Mitte der schon vorhandenen und geneigten Linie eine schwächere und verticale (3) gezogen, welche der auf dem Blatte für das rechte Auge befindlichen Linie in Stellung und Länge genau entspricht.

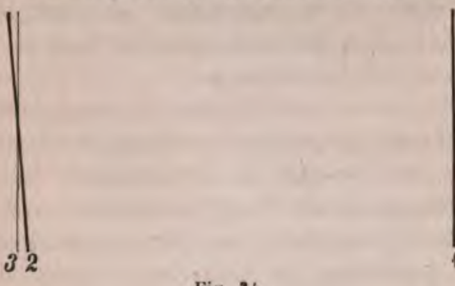


Fig. 34.

Betrachtet man jetzt die beiden Blätter im Stereoskope, so werden die beiden stärkeren Linien, von denen jede mit dem einen Auge gesehen wird, sich decken und die daraus resultirende einfache Linie wird in derselben perspectiven Linie erscheinen, als es vorher der Fall war; die schwache Linie aber, welche auf Nervenpunkte des linken Auges fällt, welche mit denen des rechten correspondiren, auf welchen sich die starke Verticale darstellt, erscheint an einem verschiedenen Orte. Sie nimmt nämlich den Ort ein, wo sich die Ebene der Richtung des Sehens für das linke Auge, in welchem sich die schwache Linie darstellt, mit der Ebene der Richtung des Sehens für das rechte Auge, welches die starke Linie enthält, durchschneidet.

Die Unvereinbarkeit des Sammelbildes mit der Identitätslehre

wird von WHEATSTONE darin gefunden, dass 2 Linien wie 1 und 3, deren Netzhautbilder in die correspondenten senkrechten Meridiane fallen, 2 Bilder erzeugen. Er meint nämlich die senkrechten Meridiane seien Decklinien, indem er correspondente und identische Punkte für synonym hält. Ich habe aber gezeigt, dass diese bisher allgemein geltende Ansicht unrichtig ist. Die senkrechten Meridiane, in welchen sich die Netzhautbilder der starken und der schwachen Verticalen darstellen, sind ihrem Wesen nach differente, daher die verschiedenen Orte, in welchen die Phantome auftreten nicht einen Beweis gegen sondern für die Identitätslehre abgeben. Eben so ist es mit dieser vereinbar, dass die beiden starken Linien sich decken, und zwar bedarf es zur Erklärung dieser Deckung unter geeigneten Umständen nicht einmal einer psychischen Vermittelung. Wenn nämlich die beiden starken Linien, welche nach oben divergiren und folglich sich kreuzen, einen Kreuzungswinkel haben, welcher dem der Trennungslinien gleich kommt, so treffen die Netzhautbilder derselben auf identische Punkte und die Einheit der Erscheinung ist also die unmittelbare Folge der organischen Einrichtungen.

Indem die Linien 1 und 2 aus anatomischen Gründen sich decken, unterbleibt die allerdings gewöhnliche Verschmelzung der beiden Senkrechten, welche, wo sie stattfindet nicht Sache der reinen Empfindung sondern Folge psychischer Vermittlung ist. Weil aber diese Verschmelzung im vorliegenden Falle verhindert wird, erscheint die schwache Senkrechte 3 dem linken Auge so, wie sie nach Versuch 125 für sich allein erscheinen muss, nämlich ein wenig nach rechts geneigt.

Ein triftiger Beweis für die Behauptung, dass auch identische Punkte zur Wahrnehmung von Doppelbildern Gelegenheit geben, ist natürlich an die Bedingung geknüpft, dass über die Identität der fungirenden Netzhautelemente kein Zweifel möglich sei. Da nun die Trennungslinien bei verschiedenen Individuen merklich verschiedene Lagen haben, so kann kein Beobachter in der vorliegenden Angelegenheit mit sprechen, welcher nicht die Lage der Trennungslinien in seinen Augen durch sorgfältige Versuche ermittelt hat.



